

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

since -- the shape of said straight line -- the die length  $L_a$  of a conductor (m) --  $0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$   
The discharge device characterized [ third ] by carrying out.

[Claim 3] the shape of said straight line -- the discharge device according to claim 1 or 2 characterized by setting the diameter of a conductor to 10mm or less.

[Claim 4] the shape of said straight line -- the discharge device according to claim 3 characterized by setting the diameter of a conductor to 1mm or more.

[Claim 5] the shape of said straight line -- the discharge device according to claim 1 or 2 characterized by changing the diameter of a conductor in the die-length direction.

[Claim 6] the shape of said straight line -- the discharge device according to claim 5 characterized by setting a part of diameter [ at least ] of a conductor to 10mm or less.

[Claim 7] the shape of said straight line -- a discharge device given in any 1 term of claims 1-6 characterized by covering surface a part or the surface whole of a conductor with a dielectric.

[Claim 8] the thickness of said dielectric -- the shape of said straight line -- the discharge device according to claim 7 characterized by making it change in the die-length direction of a conductor.

[Claim 9] The discharge device according to claim 8 characterized by making the cross-section configuration into the shape of a taper in the edge of said dielectric.

[Claim 10] said dielectric -- the shape of a straight line -- a discharge device [claim 11] given in any 1 term of claims 7-9 characterized by covering in the shape of a screw type along with the longitudinal direction of a conductor A discharge device given in any 1 term of claims 1-10 characterized by processing it into the base which has arranged the base, respectively on the second [ which faces across said first flat surface where said array antennas have been arranged ], and third flat surfaces, and has been arranged by said discharge plasma on the second and third flat surfaces at coincidence.

[Claim 12] The discharge device according to claim 11 characterized by arranging said two or more array antennas in one vacuum chamber [claim 13] The lot of the edge which adjoins each other among edges is combined electrically. the shape of first [ with two equal die length ], and second straight line -- a conductor -- parallel -- arranging -- the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the shape of first straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- carrying out -- the shape of second straight line -- the antenna element which used the end of the side with which a conductor is not combined as the electric power supply edge which can apply alternating current power two or more the shape of a straight line of each antenna element -- so that a conductor may become parallel and a touch-down edge and an electric power supply edge may serve as alternation In the plasma treatment approach which arranges at equal intervals on the first [ in a vacuum ] flat surface, constitutes array antennas, supplies alternating current power to these array antennas, and forms the discharge plasma into a vacuum That of a power electric supply edge changes 180 degrees of phases at a time in direct order, and supplies electric power in the alternating current power of the same frequency all at once. this frequency is set to 10MHz - 2GHz, and 0.1 or less are the ratio of the reflected wave to the progressive wave measured at an electric power supply edge -- as -- the shape of a straight line -- the plasma treatment approach characterized by using the array antennas which defined the die length of a conductor.

[Claim 14] The lot of the edge which adjoins each other among edges is combined electrically. the shape of first [ with two equal die length ], and second straight line -- a conductor -- parallel -- arranging -- the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the shape of first straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- carrying out -- the shape of second straight line -- the antenna element which used the end of the side with which a conductor is not combined as the electric power supply edge which can apply alternating current power two or more the shape of a straight line of each antenna element -- so that a conductor may become parallel and a touch-down edge and an electric power supply edge may serve as alternation In the plasma treatment approach which arranges at equal intervals on the first [ in a vacuum ] flat surface, constitutes array antennas, supplies alternating current power to these array antennas, and

forms the discharge plasma into a vacuum That of a power electric supply edge should change 180 degrees of phases at a time in direct order, should supply electric power in the alternating current power of the same frequency all at once, should set this frequency  $f$  (Hz) to 10MHz - 400MHz, and should use a frequency  $f$  and

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2} \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7$$

said discharge pressure  $p$  (Pa) for dielectric constant  $\kappa_p$  of the plasma.

Skin depth [ of the electromagnetic field which come out, express and invade into the plasma further ]  $\delta$  (m)  
 $\delta = -2.10 f \times 10^{-8} \ln[\sqrt{\kappa_p}]$

The attenuation coefficient  $\alpha$  which comes out, and is calculated when expressed (1/m)

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28 f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln\left(\frac{\delta}{3 \times 10^{-3}}\right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln\left(\frac{\delta}{7 \times 10^{-3}}\right)}} \right]$$

alike -- more -- the shape of said straight line -- the die length  $L_a$  of a conductor (m) --  $0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$

The plasma treatment approach characterized by using the array antennas carried out.

[Claim 15] The lot of the edge which adjoins each other among edges is combined electrically. the shape of first [ with two equal die length ], and second straight line -- a conductor -- parallel -- arranging -- the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the shape of first straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- carrying out -- the shape of second straight line -- the antenna element which used the end of the side with which a conductor is not combined as the electric power supply edge which can apply alternating current power two or more the shape of a straight line of each antenna element -- so that a conductor may become parallel and a touch-down edge and an electric power supply edge may serve as alternation By the plasma-CVD method for using the discharge plasma which arranges at equal intervals on the first [ in a vacuum ] flat surface, constitutes array antennas, supplies alternating current power to these array antennas, and occurs in a vacuum In the solar battery which formed the thin film containing silicon and used this thin film as a semi-conductor layer So that that of a power electric supply edge may change 180 degrees of phases at a time in direct order, may supply electric power in the alternating current power of the same frequency all at once, and may set this frequency to 10MHz - 2GHz and the ratio of the reflected wave to the progressive wave measured at an electric power supply edge may become 0.1 or less the shape of a straight line -- the solar battery characterized by defining the die length of a conductor.

[Claim 16] The lot of the edge which adjoins each other among edges is combined electrically. the shape of first [ with two equal die length ], and second straight line -- a conductor -- parallel -- arranging -- the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the shape of first straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- carrying out -- the shape of second straight line -- the antenna element which used the end of the side with which a conductor is not combined as the electric power supply edge which can apply alternating current power two or more the shape of a straight line of each antenna element -- so that a conductor may become parallel and a touch-down edge and an electric power supply edge may serve as alternation By the plasma-CVD method for using the discharge plasma which arranges at equal intervals on the first [ in a vacuum ] flat surface, constitutes array antennas, supplies alternating current power to these array antennas, and occurs in a vacuum In the solar battery which formed the thin film containing silicon and used this thin film as a semi-conductor layer That of a power electric supply edge should change 180 degrees of phases at a time in direct order, should supply electric power in the alternating current power of the same frequency all at once, should set this frequency  $f$  (Hz) to 10MHz - 400MHz, and should use said

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2} \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7$$

frequency and discharge pressure  $p$  (Pa) for dielectric constant  $\kappa_p$  of the plasma.

Skin depth [ of the electromagnetic field which come out, express and invade into the plasma further ] delta (m)  
 $\delta = -210f \times 10^{-8} \operatorname{Im}[\sqrt{\kappa_r}]$

The attenuation coefficient alpha which comes out, and is calculated when expressed (1/m)

$$\alpha = -\operatorname{Im} \left[ 6.28f \sqrt{ \frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_r} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)} } \right]$$

alike -- more -- the shape of said straight line -- the die length La of a conductor (m) --  $0.5(1/\alpha) < La < 10(1/\alpha)$

The solar battery characterized by carrying out.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a discharge device, the plasma treatment approach, and a solar battery, and relates to the solar battery manufactured for the discharge device made to generate the discharge plasma which was excellent in homogeneity especially using array antennas, the plasma treatment approach excellent in productivity and homogeneity, and the outstanding productivity.

[0002]

[Description of the Prior Art] Although a solar battery attracts attention as a clean energy source and it is expected, in order to aim at the spread, a cost cut is indispensable, therefore a thin film deposition system which can form the silicon system thin film of homogeneous membrane thickness in a large area substrate by the high throughput for high quality is desired. Moreover, there is a demand in various fields about large area homogeneity processing besides a solar battery. For example, in manufacture of the thin film transistor for driving a liquid crystal display, large area-ization of a substrate progresses and it is expected these days that the production line which used a glass substrate with which die length of one side exceeds 1m soon works formally. In this production process, full use of a plasma-CVD method or the dry etching method is made. Moreover, considering the height of the interest about the latest environmental problem, the removal process of a photoresist is also conjectured that dry-ization by plasma ashing (ashing) is needed sooner or later.

[0003] At a plasma treatment process like a plasma-CVD method, the dry etching method, and the plasma ashing method, the plasma treatment equipment of an parallel monotonous mold (capacity-coupling mold) is put in practical use. In this type of discharge device, a processed substrate is put on either on the earth electrode which counters the electrode top which impresses a RF, or this according to an application. The big direct-current potential difference called self-bias near an RF electrode front face occurs, and such an operation does not take place to one earth electrode side to bringing the ion bombardment of high energy to the substrate placed on the RF electrode. Consequently, the substrate placed on the RF electrode and the substrate placed on the earth electrode will receive the operation which changes with plasma. Therefore, equivalent processing cannot be performed to the substrate on two electrodes.

[0004] Thus, with the plasma treatment equipment of an parallel monotonous mold, only the whole surface can carry out plasma treatment to one electrode plate. for this reason, in processing simultaneously to the second page in the same membrane formation interior of a room, it comes out at most to install two RF electrodes in the processing interior of a room, to form two discharge fields, and to perform second page processing. Although there is also an idea which is made to increase the number of discharge fields and is made into many fields, actually, the trouble accompanying adoption of an parallel monotonous mold electrode becomes a cause, and implementation is very difficult for the complexity of structure, the badness of maintainability, etc. Furthermore, in relation to this, the parallel monotonous mold discharge device has another fault. For example, when forming membranes on a glass substrate by the plasma-CVD method, the ingredient gas introduced in the vacuum chamber is decomposed by the electron in the plasma, and a thin film is formed not only a glass substrate top but on an RF electrode. That is, among the introduced ingredient gas, on a substrate, it is consumed for the thin film formation on an electrode of the gas of an amount almost equal to the capacity used for membrane formation, and becomes useless. Furthermore, in order for the thin film on this electrode to exfoliate and to pollute space, it is necessary to remove it periodically.

[0005] Moreover, the homogeneity of the discharge plasma formed with enlargement of a substrate falls

remarkably, and there is a problem that a desired property is no longer acquired. In order to perform homogeneous high plasma treatment to a processed substrate, the plasma of a homogeneity consistency needed to be formed in the whole substrate front face, for this reason various examination has usually been made. However, by the parallel monotonous mold electrode method, if an electrode is enlarged with enlargement of a substrate, plasma formation of a homogeneity consistency is not easy and the problem on the following principles is mentioned as the reason. Namely, if an electrode becomes large, a standing wave may occur on that front face, and for this reason, the plasma may be unevenly distributed. This becomes much more remarkable, when using the higher frequency of a VHF band etc. As for the magnitude of a substrate, in the case of the 80MHz RF, from such a reason, 0.3mx(es)0.3m is called limitation, for example (U.Kroll et al. and Mat.Res.Soc.Symp.Proc.vol 557 (1999)p121-126). Furthermore, in order to form the plasma of a homogeneity consistency, it is necessary to maintain inter-electrode distance with a sufficient precision, and to arrange it over the whole substrate, in an parallel monotonous mold electrode, and this will become very difficult if a substrate is enlarged.

[0006] Then, the plasma-CVD method of an inductive-coupling mold problems, such as inter-electrode range accuracy of the above-mentioned capacity-coupling mold proper, do not arise completely unlike a capacity-coupling mold, and a plasma maintenance mechanism can moreover generate a high plasma consistency using the RF of a VHF band advantageous to high-speed membrane formation of the high quality film is proposed. Specifically, the plasma-CVD equipment of an inductive-coupling mold electrode method using electrodes, such as an electrode (the patent No. 2785442 official report) which bent the electrode (JP,4-236781,A) and the conductive wire rod of a ladder configuration to zigzag many times, is proposed.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] this invention persons examined various dielectric joint mold electrodes including the electrode of the above-mentioned structure. For example, when the inductive-coupling mold electrode bent to a ladder configuration or zigzag became large corresponding to enlargement of a substrate, it was confirmed that a current cannot become uniform easily and a standing wave occurs partially in the location which cannot be expected. As a conclusion, by the conventional inductive-coupling mold electrode method, it was difficult to make a plasma consistency into homogeneity, and it turned out that corresponding to a large area substrate is difficult.

[0008] Then, this invention persons performed fundamental examination of plasma equalization about the inductive-coupling mold electrode, and developed the antenna structure which used conversely the standing wave which became a problem in the above-mentioned conventional dielectric joint mold electrode. This antenna prepares the electric supply section in the end of for example, a U character mold antenna, makes it the structure of grounding the other end, and is considered as the configuration which makes a standing wave located on the location where distance with the section was determined on the electrode as the touch-down section and the electric supply section as 1/2 of the excitation wavelength of a RF by return (PCT/JP 00/06189). Furthermore, it became possible by using the antenna of this structure as a component of array antennas to generate the discharge plasma more uniform to a large area.

[0009] However, to the last, this membrane formation approach uses that a standing wave occurs on an antenna, and the ununiformity of the plasma consistency by existence of a standing wave generates it in the direction met to some extent at the antenna. This ununiformity can be eased by some approaches. For example, homogeneity improves by supplying intermittently the power which drives an antenna (the collection of the 61st autumn Japan Society of Applied Physics drafts VHF-PECVD using a p.841(September, 2000) "new style electrode large area film production" of a-Si:H by law). However, by these approaches, heterogeneity under the effect of a standing wave was not able to be abolished completely. Moreover, since the standing wave was used, it was not avoided that plasma density distribution is greatly influenced by change of the geometric die length of an antenna or an exciting frequency.

[0010] This invention offers the new antenna structure and the electric power supply approach for vanishing generating of a standing wave substantially in view of this situation, and aims at realizing the plasma treatment approach of of the high discharge device and large area substrate of plasma homogeneity, and a solar battery with high productivity.

[0011]

[Means for Solving the Problem] That the above-mentioned purpose should be attained, this invention person

found out that special effectiveness discovered an antenna element in about the same poor antenna array as plurality, while examining various the electric supply approach of high-frequency power, electrode structures, membrane formation conditions, etc. This invention advances examination of thickness equalization further based on this knowledge, and is completed.

[0012] The discharge device of this invention has the following gestalten. the shape of first [ with two equal die length ], and second straight line -- a conductor arranges in parallel -- having -- the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the edge of each lot which adjoins each other mutually among edges is combined mutually electrically. Thereby, the antenna element of a U character configuration is constituted. the first shape of a straight line of this antenna element -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- becoming -- the shape of second straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined turns into an electric power supply edge. Alternating current power can be applied now to this electric power supply edge. this antenna element -- two or more -- the shape of a straight line of each antenna element -- it arranges so that a conductor may become parallel, and a touch-down edge and an electric power supply edge may be arranged by turns, and each antenna element may come at equal intervals on the flat surface in a vacuum. This antenna element group by which two or more arrangement was carried out functions as array antennas, and makes the discharge plasma form into a vacuum. Electric power is supplied to array antennas with such a geometric gestalt in the alternating current power of the same frequency all at once. An exciting frequency is 10MHz - 2GHz.

[0013] Adoption of such a gestalt and the excitation approach generates a standing wave on an antenna element, as mentioned above. This is for the electromagnetic wave which departed from the electric power supply edge to progress as a progressive wave along with an antenna, and to reflect in a touch-down edge, to become a reflected wave, and for a standing wave to arise by interference with a progressive wave and a reflected wave. Reducing the effect of the plasma homogeneity on this standing wave is the 1st technical problem which this invention should solve. Moreover, when two or more antenna elements were driven, the complicated interaction between antenna elements occurred, and there was a case where electromagnetic field became out of control by this. This is the 2nd technical problem which this invention should solve.

[0014] First, in order to solve this 2nd technical problem, this invention person reached the way of thinking that what is necessary was just to use \*\* of superposition. This is explained below. drawing 5 is in phase in the phase in the electric power supply edge of the adjoining antenna element -- the current which flows to the array antennas at the time of considering as (a) and an opposite phase (b) is shown typically. an antenna element 2 -- the shape of two straight lines -- the track (#1, #2, or #3 and #4) of a conductor is connected, and the end of the electric power supply edge 9 and the other end is the touch-down edge 10. In drawing, the sense of an arrow head shows the phase of a current, and it is it at the observation time, and the current shall flow in the direction of an arrow head, and it considers a upward arrow head as plus for convenience. The magnitude of an arrow head shows the magnitude of a current, at the observation time, is a current supply source side (the shape of a straight line of an odd number a conductor section), and explains it as that to which the big current is flowing.

[0015] In the case ( drawing 5 (a) ) of in phase electric supply, track \*\*2 are inserted into the big current of track #1 and track #3. the two shape of therefore, a straight line which the electric field of the track #2 neighborhood adjoin -- a conductor -- to be influenced greatly is considered by the current which flows a top. Next, in opposite phase electric supply ( drawing 5 (b) ), track #2 are inserted into the big minus current of track #1, and the big plus current of track #3. the shape of a straight line of the antenna with which the electric field of the track #2 neighborhood adjoin each other since according to \*\* of superposition this effectiveness will be negated if magnitude is the same and the effectiveness of the reverse sense exists in coincidence -- a conductor -- it is thought that it is hard that it comes to win popularity the effect of a current which flows a top. In addition, although the current distribution configuration on an antenna element was assumed for convenience and explained, the above will bring same result, no matter it may be what current distribution, if the equivalent antenna element is arranged electrically. therefore, the effect of the current of not only the component that adjoins each other by reversing the phase between adjacent components when the antenna element of the same configuration is arranged but a return trip (or outward trip) -- substantial -- it can ignore -- coming -- the shape of a straight line -- it is thought that the current which flows a conductor carries out the same behavior as the current on a single track. That is, by supplying the power of an opposite phase between the adjoining antenna elements, the interaction between antenna elements can be disregarded in practice, and the 2nd technical

problem can be solved.

[0016] Next, to conquest of the 1st technical problem, the hint was in the field of the electric-wave transmission engineering which is a technical field different from this invention. That is, it is application of the concept of a loaded antenna. The feeding point of a loaded antenna of an antenna is the antenna for a communication link with which the opposite side was grounded through the load of a suitable impedance. Reflection will not take place in a large frequency range by consuming with a load the electromagnetic energy spread along with the antenna by making it such a configuration. When examination which applies the concept of this loaded antenna to the antenna of plasma treatment equipment was performed, even if it did not attach the load as a circuit element specially, by the system which this invention persons examined, it turned out that the same effectiveness is acquired. This is considered for the plasma itself which surrounds an antenna playing the role of the load as a distributed constant circuit.

[0017] It is as follows when the above is summarized. the shape of a straight line which constitutes array antennas if it changes 180 degrees of phases of the supply voltage to array antennas at a time -- a conductor -- the section can be regarded now like the guide of the radio wave propagation only whose one exists in the plasma, and can reduce aggravation of the plasma density distribution resulting from the interaction between antenna elements. In addition, the interaction of an electromagnetic wave and the plasma can be large enough, generating of a standing wave can be suppressed by making the condition that most electromagnetic energy is absorbed in the plasma, and the heterogeneity of a plasma consistency can be reduced along with a conductor. Consequently, it becomes possible to form the more uniform plasma over the whole array antennas. In addition, the magnitude of a standing wave can be predicted by measuring the progressive wave and reflected wave in an electric power supply edge of an antenna. If the interaction of an electromagnetic wave and the plasma is sufficiently large, since power will be absorbed by the plasma, it can observe as reduction in a reflected wave in phenomenon. Therefore, when the geometric die length of an antenna was long enough, or when a discharge pressure was high enough, transfer of energy tends to have taken place and the ratio to the incidence power of reflective power became 10% or less although observed as such a big interaction, it turned out that distribution of a standing wave form is no longer looked at by the plasma consistency, and thickness homogeneity improves. That is, it turned out that what is necessary is just to determine the geometric die length of an antenna with the magnitude of a reflected wave according to PURAZUMAPATA meter etc.

[0018] in order that the above may acquire the uniform plasma -- the shape of a straight line -- although how the ratio of the reflected wave to a progressive wave determines the die length (antenna length)  $L_a$  of a conductor has been described, the suitable antenna length  $L_a$  can be defined from the attenuation coefficient  $\alpha$  of an electromagnetic wave. That is, also by being referred to as  $0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$ , a standing wave can be vanished substantially and plasma homogeneity can be raised. This is explained below.

[0019] As shown in drawing 6, a sheath 61 and the plasma 63 exist in the perimeter of an antenna 60. Since the plasma 63 exists to the location considerably distant from the antenna 60, when considering the behavior of the electromagnetic wave which spreads an antenna top, it is in sight that it is likely to be necessary to think over the whole plasma or the all field in a vacuum chamber which is performing discharge. However, except for the case where a plasma consistency is very low, and the case where an exciting frequency is very high, an electromagnetic wave is in the condition that the inside of the plasma cannot be spread. Although this is generally called a cut off state, and electric field advance to some extent into the plasma when the frequency of an electromagnetic wave is below the plasma frequency  $f_p (= \omega_{pe}/(2\pi))$ , an electromagnetic wave spreads [ stop / \*\*\*\*\* ] to where. Therefore, the plasma of the field to some extent near an antenna should mainly influence the property of the propagation.

[0020] Then, about this field, the imagination boundary 62 was defined and the radius  $d$  of this boundary 62 was approximated by the so-called skin depth  $\delta$ . When a plane wave electromagnetic wave carries out incidence of skin depth  $\delta$  at right angles to the plasma by the cut off state In cold plasma approximation and linear approximation in case the distance which electric field decline in the plasma and increases  $1/e$  time ( $e$  is the bottom of a natural logarithm) is shown and a collision cannot be disregarded (1) What is shown by the formula is known well (for example). Michael ALieberman and Allan J.Lichtenberg, "Principles of Plasma Discharge and Materials Processing", John Wiley & Sons, and Inc.1994 p390.

$$\delta = -\left(\frac{\omega}{c}\right) \text{Im}[\sqrt{\kappa_r}]$$

... (1)

The complex relative permittivity of the plasma as which  $c$  is expressed and the velocity of light and  $\kappa_p$  are expressed in (2) types here, and  $\omega$  ( $=2\pi f$ ) are angular frequency (exciting frequency to which  $f$  drives an antenna).

$$\kappa_p = 1 - \frac{\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}{1 - j\frac{\nu}{\omega}}$$

... (2)

In addition,  $\nu$  is a collision frequency and  $\omega_p$  ( $= 2\pi f_p$ ) is plasma angular frequency. Here,  $n$  is a plasma consistency ( $m^{-3}$ ), and is approximated by  $f_p(\text{Hz}) = 8.98$  and  $n^{0.5}$ .

[0021] Thus, if the imagination boundary  $d$  ( $=\delta$ ) is defined, since the electromagnetic wave spread along with an antenna can be considered to be propagation on a coaxial track, it can ask for an attenuation coefficient  $\alpha$  easily. Then, artificers considered using an attenuation coefficient  $\alpha$  as a means for determining antenna length. The attenuation coefficient  $\alpha$  in this case uses the inductance  $L$  per [ to the imagination boundary  $d$  ] unit length of an antenna, and the electrostatic capacity  $C$  per unit length of an antenna,

$$LC = \frac{\mu_0 \ln \frac{d}{a}}{\frac{1}{\epsilon_0} \ln \frac{c}{a} + \frac{1}{\epsilon_0 \kappa_p} \ln \frac{d}{c}}$$

... (3)

$$\alpha = -\text{Im}[\omega\sqrt{LC}]$$

... (4)

It can write. However,  $\mu_0$  is space permeability and  $\epsilon_0$  is the dielectric constant of vacuum.

[0022] The attenuation coefficient which artificers are the range which does not lose practicality, and they prepared the suitable assumption so that it might become the form where it is easy to use (4) types of an attenuation coefficient  $\alpha$ , and was drawn based on the assumption since the above (1) - (4) type had too many parameters for describing a phenomenon decided to investigate whether an experimental result is well explained in the large range. First, in consideration of the realistic antenna diameter, it could be  $a = 3\text{mm}$ . It was referred to as  $4\text{mm}$  supposing the plasma parameter expected as thickness of a sheath, and could be  $c = 7\text{mm}$ . When it was many as long as the numeric value was a practical numeric value even if it applied another numeric value to these, it checked not having big effect on a conclusion. Moreover, it was assumed as a plasma consistency that it was  $2 \times 10^{15} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ . When it is not the so-called high density plasma, the plasma consistency used by plasma treatment does not become the range of  $1 \times 10^{15} \text{ (m}^{-3}\text{)}$  to  $1 \times 10^{16} \text{ (m}^{-3}\text{)}$  in many cases, and does not necessarily take the not much large numerical range. Next, the collision frequency  $\nu$  uses discharge

$$\nu = \frac{\langle v \rangle}{\lambda_m} = \frac{6213 \times 10^3}{\frac{\lambda_{m0}}{p}} = \frac{621 \times 10^5}{6.40 \times 10^{-3} / p} = 9.70 p \times 10^7$$

pressure  $p$  (Pa) as one electron approximation,

... (5)

It came out and expressed. (5) By the formula, in order to calculate mean free path  $\lambda_{m0}$ , the collision cross-section of Ar was used. Although a collision cross-section changes with the classes and percentage of gas, the value which is extremely different except for the cases of being special, such as a molecule like a polymer with big molecular weight, is not necessarily taken. Moreover, although it assumed that electron temperature was  $10,000\text{K}$ , it is extent which does not change not much a lot in low pressure discharge, and changes at most several times also about this.

[0023] - (1') (4') type can be drawn for the above assumption by Lycium chinense.

$$\delta = 2.10 f \times 10^{-3} \text{Im}[\sqrt{\kappa_p}]$$

... (1')



$$\kappa_p = 1 - \frac{\frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2}}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

... (2')

$$LC = \frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}$$

... (3')

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

... (4')

[0024] An attenuation coefficient alpha is calculated and the inverse number of the attenuation coefficient is taken. The unit of the inverse number of an attenuation coefficient is meter, and physically, if it comes to the location of 1/alpha, the magnitude of the electromagnetic wave which left the electric power supply point of a coaxial-circles cylinder means decreasing 1/e time. Then, it is possible that it is appropriate as die length La of the bay of array antennas to give the value of a near [ the inverse number of an attenuation coefficient ]. That is, if not much shorter than the inverse number of an attenuation coefficient, in order that an electromagnetic wave may seldom decline even at the touch-down edge of an antenna element, a reflected wave occurs at a touch-down edge, and it is expected that a standing wave is formed. On the other hand, if a bay not much longer than the inverse number of an attenuation coefficient is given, it becomes impossible to cover an antenna overall length and to generate discharge, and the discharge plasma will be chiefly formed near an electric power supply point. Then, the 0.5 times and 10 times as many numeric value as this was calculated for the attempt as a discharge pressure dependency about the case where an exciting frequency is changed, to the inverse number of an attenuation coefficient. As a part of this count result, the relation between a pressure and La was shown in drawing 7 -9 about the case where exciting frequencies are 10MHz, 85MHz, and 400MHz. Behind, although the column of an example described, artificers checked that the optimum value of the die length of a bay existed in the field inserted into drawing 7 -9 with two curves shown, respectively. That is, it is die length La of a bay. Die-length La < 10 of a 0.5(1/alpha) < bay (1/alpha)

... (6)

It resulted in the conclusion that what is necessary is just to select. In addition, since the plasma consistency was set with  $2 \times 10^{15} \text{ (m}^{-3}\text{)}$  in derivation of the formula so far, the frequency which will be in a cut off state theoretically is set to 400MHz.

[0025] Although the bay die length La can be expected now only with two parameters, a discharge frequency and a discharge pressure, - (1') (4') type is a formula which gave priority to and searched for the convenience and practicality of use, as stated above, limits the use range to the purpose of a discharge device or plasma treatment, and is obtained so that an experimental result may be suited.

[0026] As mentioned above, although two kinds of approaches were shown about the decision approach of the bay die length of an antenna, it is desirable to make the diameter of an antenna thinner than 10mm in any [ this ] case. Thus, even if the geometric die length of an antenna is the same by selecting the bay of a thin diameter, if it carries out that it is easy to make the plasma form covering the overall length, it can \*\*. If it puts in another way, selection of a small diameter has the effectiveness which shortens electrical length of an antenna. This is guessed because the diameter of an antenna relates to the reinforcement of the interaction of an electromagnetic wave and the plasma. If for example, a bay diameter becomes large, the energy transfer (O. A. Popov and V. A. Godyak, J. Appl. Phys. 57, 53(1985).) by the oscillating sheath will become large, and this is considered for the rate of capacitive association to increase as electrical coupling of an antenna and the plasma. Thus, although

selection of the diameter of an antenna affects selection of antenna bay die length, the extent is not large, and even if the optimal antenna bay die length makes an antenna diameter thin, there is within limits for which it still asks from (6) types. Thus, configuration stability will be lost if an antenna diameter is too thin, although the to some extent thinner one becomes advantageous from a viewpoint of large-area-izing. Considering manufacture or maintenance of an antenna, selection of thinness which causes plastic deformation simply during handling is not appropriate. Furthermore, when loss, generation of heat, etc. of power by the current which flows an antenna top are taken into consideration, in the diameter of a bay, selecting to 1mm or more is desirable.

[0027] Although it said that the diameter of a bay is related to the radio wave propagation on an antenna, it is possible to use this positively. That is, the overall length of a bay might be covered and, in the case of the antenna element of the same diameter, the strength of the plasma consistency accompanying attenuation of an electromagnetic wave might occur. Moreover, also when a plasma consistency wants to rise only in the neighborhood on which the base which should be processed is put in addition to this, it is. Furthermore, it is also considered that an ununiformity arises to the plasma according to the specific design condition in a vacuum chamber. As an approach of coping with this, artificers found out that a plasma consistency was controllable, when change was given to the diameter along with the die length of a bay. In this case, it was found out by making the location where the size of a bay becomes thinner than 10mm that this effectiveness becomes more remarkable.

[0028] Moreover, as mentioned above, the propagation constant of the electromagnetic wave spread along with an antenna is deterministically governed by the sheath and plasma of the perimeter of an antenna. Here, when a bay is covered with dielectrics, such as ceramics like an alumina, and plastics like Teflon (trademark), an electromagnetic wave will spread the space which consisted of the dielectrics, sheaths, and plasma of the perimeter of an antenna. By this, even if the geometric die length of a bay is the same, the uniform plasma can be formed in the larger range. Even if it set the diameter of a bay as 10mm or less, it was effective, and this effectiveness was effective also when change was given to the diameter of a bay.

[0029] In addition, as for a dielectric, it is desirable to change thickness to an electrode longitudinal direction. In order to raise covering the polar zone near the electric supply section with a thick dielectric, and making other parts thin, in order to control the phenomenon which says that a plasma consistency becomes high under the effect of a non-decreased electromagnetic wave near the electric supply section especially, and the plasma consistency of a near [ a processed base ], it is desirable to make dielectric thickness of this neighborhood thin. Moreover, as for thickness, it is desirable to the longitudinal direction of a bay to make a gradual change. Thereby, a rapid characteristic-impedance change in a dielectric edge is suppressed, and it becomes possible to form the plasma of a homogeneity consistency more. Or along with the longitudinal direction of said electrode, an electrode may be covered in the shape of a screw type. Thereby, flattening of the plasma consistency in a dielectric edge is carried out, and the plasma consistency which met the electrode is equalized further.

[0030] According to the array antennas of this invention, equivalent plasma treatment becomes possible on the base of the second page by placing the processed base of the second page, as the slab-like discharge plasma can be made to form so that the array antennas may be inserted and an antenna is inserted. Thereby, a throughput doubles and the use effectiveness of ingredient gas doubles.

[0031] Moreover, at the processor of the conventional parallel monotonous mold, a limitation prepares at most two discharge fields in a vacuum chamber. On the other hand, in this invention, since the structure of weight of array antennas is lightweight simply, decomposition and reassembling are easy. Moreover, since an electric power supply edge is located on a side face, it becomes easy to make two or more discharge fields in a vacuum chamber. Productivity improves by this. Productivity improves further by arranging the base of the second page, as an antenna is inserted into both sides of array antennas, and arranging two or more these combination in the same vacuum chamber.

[0032] A conductor is arranged in parallel. the shape of first [ with two die length equal / the plasma treatment approach of this invention / on the other hand ], and second straight line -- The lot of the edge which adjoins each other among edges is combined electrically. the shape of said first and second straight line -- a conductor -- the shape of first straight line -- the end of the side with which a conductor is not combined -- a touch-down edge -- carrying out -- the shape of second straight line -- the antenna element which used the end of the side with which a conductor is not combined as the electric power supply edge which can apply alternating current

power two or more the shape of a straight line of each antenna element -- so that a conductor may become parallel and a touch-down edge and an electric power supply edge may serve as alternation In the plasma treatment approach which arranges at equal intervals on the first [ in a vacuum ] flat surface, constitutes array antennas, supplies alternating current power to these array antennas, and forms the discharge plasma into a vacuum That of a power electric supply edge changes 180 degrees of phases at a time in direct order, and supplies electric power in the power of the same frequency all at once. this frequency is set to 10MHz - 2GHz, and 0.1 or less are the ratio of the reflected wave to the progressive wave measured at an electric power supply edge -- as -- the shape of a straight line -- it is characterized by using the array antennas which defined the die length of a conductor.

[0033] Or that of a power electric supply edge should carry out sequential change of every 180 degrees of the phases, and supply electric power in the power of the same frequency all at once, set this frequency f (Hz) to 10MHz - 400MHz, and use said frequency and discharge pressure p (Pa) for direct order for dielectric constant

$$\kappa_p = 1 - \frac{\frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2}}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

kappap of the plasma.

Skin depth [ of the electromagnetic field which come out, express and invade into the plasma further ] delta (m)  
 $\delta = -2.10 f \times 10^{-8} \ln \left[ \sqrt{\kappa_p} \right]$

The attenuation coefficient alpha which comes out, and is calculated when expressed (1/m)

$$\alpha = -\operatorname{Im} \left[ 6.28 f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

alike -- more -- the shape of said straight line -- the die length La of a conductor (m) --  $0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$

It is characterized by using the array antennas carried out.

[0034] On the other hand, the solar battery of this invention is characterized by forming the thin film containing silicon and using this thin film as a semi-conductor layer by the plasma-CVD method of above-mentioned this invention.

[0035] In addition, in this invention, a base is the semantics also containing the thing of the shape of a film besides the so-called substrates, such as insulating materials, such as glass, a semi-conductor, and a metal, or a wafer (what the shape of a roll rolled is included), and the letter of a block. Furthermore, the discharge device of this invention is used for the substrate processing described above, and also it can be used for decomposition and composition of a raw material like offgas treatment or the polymerization of the organic substance.

[0036]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of this invention is explained with reference to drawing below. Drawing 1 is the typical sectional view showing the example of 1 configuration of the array antennas used for the discharge device of this invention. As shown in drawing, to the vacuum chamber 1 which has a gas inlet 5 and an exhaust port 6, two or more antenna elements 2 bent by the U character mold counter, are arranged at a substrate 11, and connect the electric power supply edge 9 of each end to RF generator 7 through a coaxial cable 8, and a discharge device connects the touch-down edge 10 of the other end at the wall of a vacuum chamber 1, and grounds it. Here, it is determined more that the die length between the sections 4 (the shape of namely, a straight line the die length La of a conductor) makes the ratio to the progressive wave of the reflected wave in an electric power supply edge 0.1 or less by return with the electric power supply edge 9 and the touch-down section 10, or (6) types are materialized. Moreover, the antenna front face is covered with a dielectric 3 like Teflon (trademark).

[0037] an antenna element 2 -- lines, such as SUS and aluminum, -- although the thing of the configuration which bent the conductor in the U character mold is used suitably, the thing of a rectangle like the character

type of "KO" may be used, for example. moreover, the thing formed in one -- it is not necessary to be -- the shape of for example, two straight lines -- you may be the structure which connected and fixed the conductor with the metal plate etc. the shape of in addition, a straight line -- a conductor is the thing of the same quality of the material, and it is not necessary to necessarily constitute it, and it may connect the thing of the different quality of the material.

[0038] a dielectric 3 -- the shape of a straight line -- a conductor -- although you may form so that the whole surface may be covered -- a conductor -- you may cover surface [ a part of ]. In any case, thickness homogeneity can be raised and a dielectric formation location, its configuration, etc. are defined according to the pattern of plasma density distribution (or thickness distribution). For example, as shown in drawing 2 (a), you may form only in the bay of electric power supply one end. Thereby, increase of the plasma consistency by the side of the electric supply section is suppressed, and a plasma consistency is equalized as the whole antenna. Furthermore, it becomes possible to raise homogeneity more along with an antenna longitudinal direction by limiting to the location where a plasma consistency tends to become high, and preparing dielectric covering in some antennas. Here, depending on the thickness of the dielectric to cover, a plasma consistency may increase at the dielectric edge. In this case, as shown in drawing 2 (b), it is desirable to consider as the configuration which makes the cross section in a dielectric edge a taper configuration, and makes thickness of a dielectric thin gradually toward a dielectric edge. Thereby, the appearance of the plasma consistency peak in the part corresponding to a dielectric edge is suppressed. Or as shown in drawing 2 (c), along with an antenna longitudinal direction, a dielectric may be covered to a screw type and the plasma consistency in a dielectric edge is equalized also by this approach. In addition, although the thickness and the dielectric constant (quality of the material) of a dielectric are suitably chosen according to the plasma density distribution which it is going to improve, in the case of Teflon (trademark), about 0.1mm or more is used suitably, for example. If a dielectric is stable to the plasma and heat, although the thing of the quality of the material like a throat is sufficient as an organic system ingredient like Teflon (trademark), an alumina, an inorganic system ingredient like a quartz, etc., the big ingredient of RF loss is not desirable.

[0039] In addition, what is necessary is just to add a coaxial cable equivalent to the die length for the half-wave length to an electric power supply edge alternately [ of two or more antenna elements ] as an approach of supplying the RF of an opposite phase to two or more antenna elements by turns. Moreover, a phase shifter may be formed in an RF generator and the RF shifted half wave length may be supplied alternately.

[0040] Moreover, as shown in drawing 3, as for the discharge device of this invention, it is desirable to consider as the structure which opened further predetermined spacing and has arranged the array antennas which arranged two or more antenna elements 2 to processed base width of face to two or more layers, and to consider as the multi-field configuration which has arranged the processed base 11 on both sides of each class. By considering as such a configuration, it becomes possible to perform plasma treatment to coincidence on many bases (the example of drawing six sheets), and a throughput can be raised sharply. And since array antennas and distance between bases are short made with about 30-60mm, the discharge device which was excellent in the throughput ratio to equipment installation area is realizable.

[0041]

[Example] Next, an example is given and this invention is explained more concretely. The following experiments were conducted on drawing 1 using the plasma treatment equipment of a configuration of that an outline is shown. The die length of the bay at this time was made into three kinds, 0.5m, 1.0m, and 1.6m, and density distribution of the plasma by the measurement and viewing of reflective power in the exciting frequency of 50MHz and the discharge pressure of 10Pa was observed. Consequently, discharge was not able to be made to occur in 0.5m. In 1.0m, although the discharge plasma occurred, reflection was over 10% to the progressive wave greatly. When the plasma at this time was observed, the consistency became deep near the bay center, and the phenomenon in which a consistency became thin was seen as it went to the edge. On the other hand, with a 1.6m antenna, reflective power became very small and the shade of the plasma was hardly able to be observed. Next, the discharge pressure was set to 20Pa and same observation was performed. Consequently, although discharge generated even the 0.5m antenna, the reflected wave was over 10% greatly. The plasma consistency of the bond part (neighborhood bent to U characters) of an antenna became high, and, as for the plasma density distribution at this time, the phenomenon in which the luminescence reinforcement from the plasma fell was seen toward the electric power supply edge and the touch-down edge. By this pressure (20Pa), about the

antenna (1.0 and 1.6m), reflective power was also small and the homogeneity of a plasma consistency was also good.

[0042] As mentioned above, by selecting the bay of the antenna more than suitable die length showed that a reflected wave could be stopped small and generating of the heterogeneity of the plasma considered to originate in coincidence at the standing wave could be suppressed. As a result of trying the same experiment on various discharge conditions, by selecting the ratio of a reflected wave [ as opposed to a progressive wave for bay die length ] about to the die length stopped to 10% or less, plasma homogeneity also became possible [ keeping it good ], and bay die length was understood also for a reflected wave not re-going up as more than this die length, either.

[0043] Based on the above result, plasma-CVD equipment with array antennas with an exciting frequency [ of 85MHz ] and a die length [ of a bay ] of 1.6m was made as an experiment, and quantitative observation with this equipment was performed. The bay of an antenna was covered with Teflon (trademark) with a thickness of 1mm. The gas used for discharge is the mixed gas of  $\text{SiH}_4/\text{H}_2=0.2$ . Although it was in phase and power was supplied to introduction and each antenna element, thickness distribution was very bad as shown in drawing 4 . Next, where it shifts 180 degrees of phases of each antenna element at a time, when it experimented by changing a membrane formation pressure, as shown in drawing, the homogeneity of the thickness at the time of the discharge pressure of 2-3Pa became good. The reflected wave at this time was 3% or less of a progressive wave. In addition, the experiment by the pressure not more than this was not completed by constraint on the exhaust velocity of equipment. Moreover, when the discharge frequency was lowered, a reflected wave increases and the irregularity of thickness \*\*\*\*\* came to be seen. That is, even if the geometric die length of the bay of an antenna was the same, it was checked that lowering a discharge frequency has effectiveness equivalent to shortening the electrical length of bay die length.

[0044] Next, using array antennas with a die length [ of a bay ] of 1.6m, the same experiment was conducted in the range with a discharge pressure of 0.1-1000Pa, and relation with the graph of drawing 7 -9 was investigated. First, the case where the exciting frequency which drives an antenna is 10MHz is considered. According to drawing 7 , in a low voltage force field, bay die length of dozens to tens of thousands of meters is required, otherwise it is suggested that the ununiformity of the plasma and the increase of a reflected wave by generating of a standing wave take place. That is, it was expected that die length of 1.6m of a geometric bay was probably too short. In an actual experiment, discharge was not able to be started in the pressure of 100Pa or less. Although discharge occurred when the pressure was raised, the reflected wave was in the condition near total reflection large almost in every pressure field.

[0045] Next, a case with an exciting frequency of 85MHz is considered. In this case, according to the graph of drawing 8 , the die length of a 1.6m bay is located between 0.5 (1/alpha) and 10 (1/alpha) in a 1-100Pa pressure field, its reflective power is also small, and what the overall length of an antenna will be covered and discharge will spread is expected. The actual experimental result was as follows. Although discharge did not occur in 0.1-0.6Pa, the discharge plasma occurred in the pressure field beyond it. Near 2-3Pa, the reflected wave was also small and the homogeneity of the plasma by visual inspection was also especially good. Although the plasma consistency became low by the antenna point near 10 - 10Pa of numbers, it is thought that electric antenna length was too long as for this. In addition, in the pressure field in which discharge was not able to occur, what was not able to fill spark conditions with the power switched on since the collision frequency was small is conjectured.

[0046] The case where an exciting frequency is set to 400MHz is explained. According to the graph of drawing 9 , by the pressure of about 10Pa, while the die length of the bay of an antenna is close by 10 times (1/the alpha) and the fall of the plasma consistency in the point of an antenna is predicted, it is expected that a reflected wave becomes small. Although such a phenomenon was seen in the discharge pressure field near 10Pa as a result of the experiment, in the high discharge pressure field, reflection of plasma homogeneity was also small good. In any case, by the above, antenna length is die-length  $L_a < 10 (1/\alpha)$  of a  $0.5(1/\alpha) < \text{bay}$ . It turned out that a reflected wave becomes small and good plasma homogeneity is acquired by selecting the die length of \*\*\*\*\*.

[0047] Theoretically, an attenuation coefficient changes according to the class of gas, the dielectric constant and thickness of the dielectric attached in the size of an antenna, and the perimeter of an antenna, a plasma consistency (exciting power), etc. as it understands by the above description. However, in parameter within the

limits in which the optimal antenna length did not change extremely because these parameters change, and artificers experimented, it was checked that the optimum value of bay die length exists in the upper within the limits.

[0048] The substrate was carried in the both sides of array antennas using the approach of this invention, and the a-Si solar battery was made as an experiment. Consequently, the solar-battery property on the substrate which the cell with a property equivalent to an parallel monotonous form discharge device was obtained, and was put on the both sides of array antennas was almost equivalent.

[0049]

[Effect of the Invention] A discharge device with high productivity can be obtained by this invention, and the plasma treatment approach that productivity is high is realized by this invention. Moreover, it contributes to implementation of a low price solar battery greatly by applying this invention as plasma-CVD equipment for manufacturing a solar battery.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

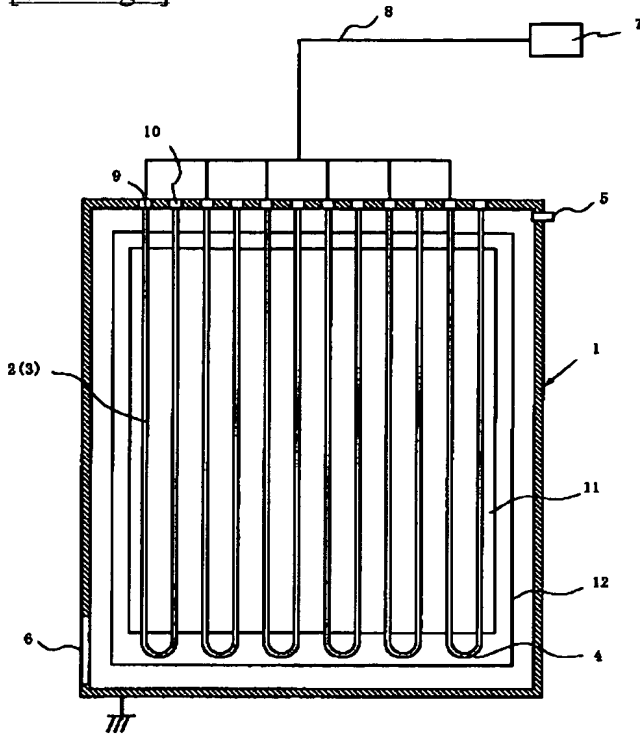
**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

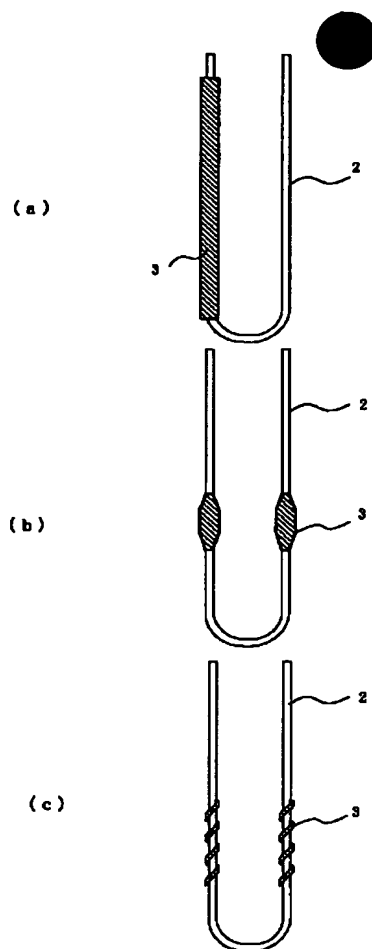
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

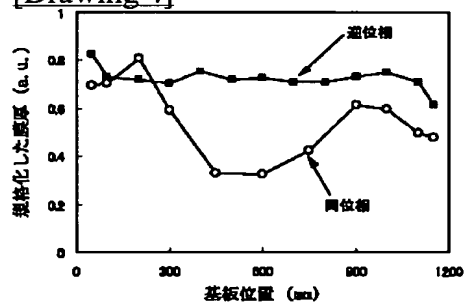
**DRAWINGS**

---

[Drawing 1][Drawing 2]

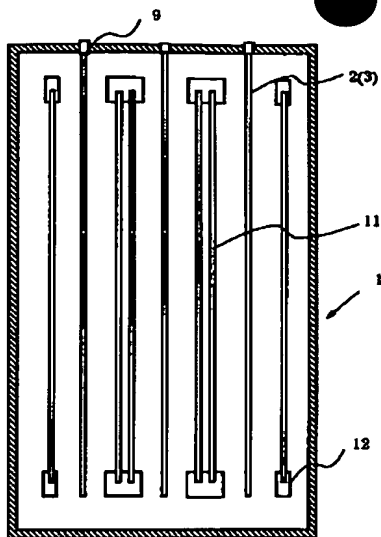


[Drawing 4]

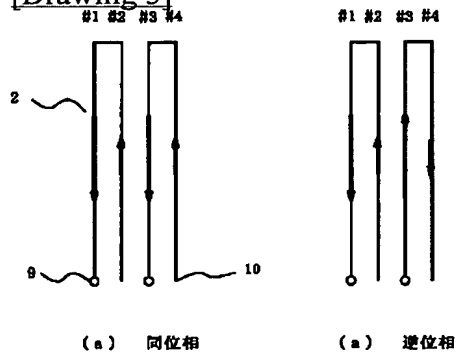


[Drawing 3]

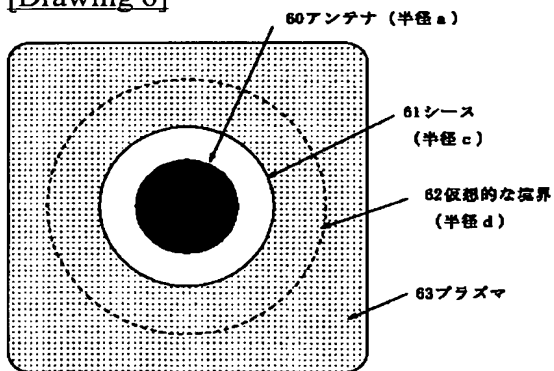




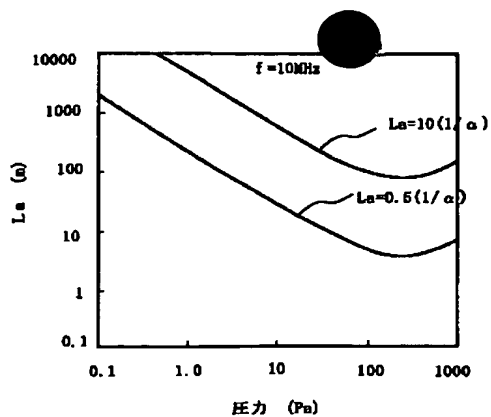
[Drawing 5]



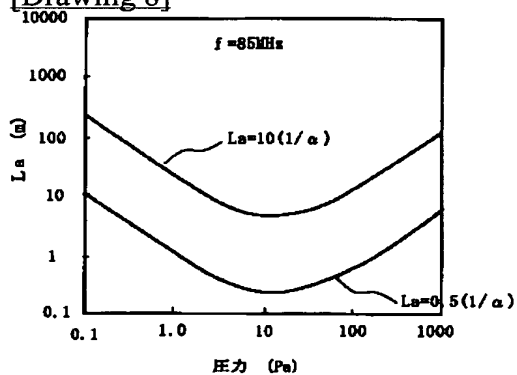
[Drawing 6]



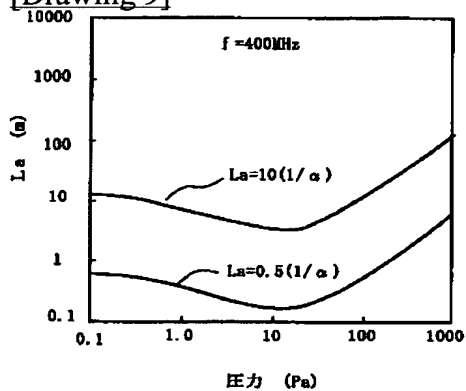
[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Translation done.]

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

H05H 1/46

H05H 1/46

L 5F045

H01L 21/205

H01L 21/205

5F051

31/04

31/04

V

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願2001-296332 (P 2001-296332)

(22) 出願日 平成13年9月27日 (2001. 9. 27)

(71) 出願人 000000099

石川島播磨重工業株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(72) 発明者 上田 仁

東京都府中市四谷5丁目8番1号 アネル  
バ株式会社内

(72) 発明者 高木 朋子

東京都府中市四谷5丁目8番1号 アネル  
バ株式会社内

(74) 代理人 100111051

弁理士 中西 次郎

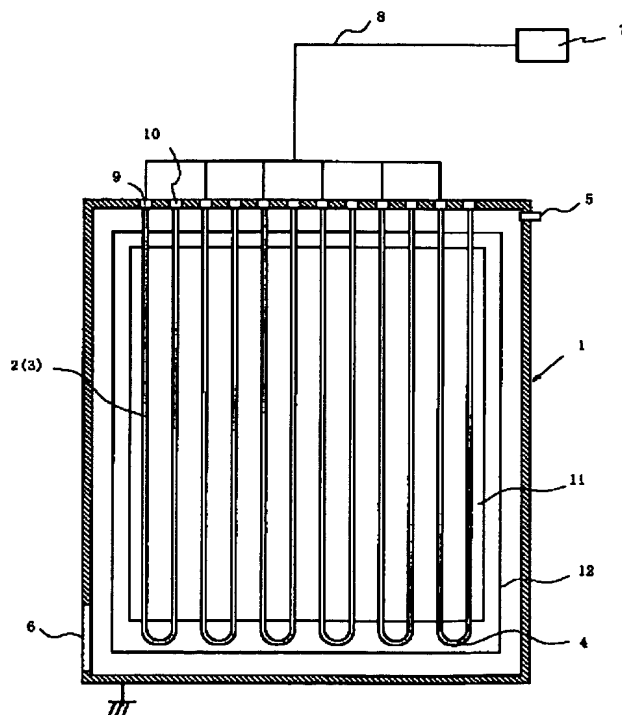
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電装置、プラズマ処理方法および太陽電池

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、定在波の発生を実質的に消失させるための新規のアンテナ構造及び電力供給方法を提供し、プラズマ均一性の高い放電装置と大面積基板のプラズマ処理方法、また生産性の高い太陽電池を実現することを目的とする。

【解決手段】 両端を電力供給端及び接地端とするU字形のアンテナ素子を複数個、接地端と電力供給端とが交互となるように、平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、電力供給端のはじから順に、位相を180°ずつ変化させて一斉に同一周波数の交流電力を給電し、該周波数を10MHz～2GHzとし、電力供給端で測定される進行波に対する電力供給端で測定される反射波の比が0.1以下となるように直線状導体の長さを定めたことを特徴とする。また、 $\alpha$ を減数定数としたとき、前記直線状導体の長さLa (m)を、 $0.5 (1/\alpha) < La < 10 (1/\alpha)$ としたことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電気的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に放電プラズマを形成する放電装置において、電力供給端のはじから順に位相を $180^\circ$ づつ変化させて、一斉に同一周波数の交流電力を給電することを第一の特徴とし、該周波数を $10\text{MHz} \sim 2\text{GHz}$ とすることを第二の特徴とし、電力供給端で測定される進行波に対する反射波の比が $0.1$ 以下となるように直線状導体の長さを定めたことを第三の特徴とする放電装置。

【請求項2】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電気的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に放電プラズマを形成する放電装置において、電力給電端のはじから順に、位相を $180^\circ$ づつ変化させて一斉に同一周波数の交流電力を給電することを第一の特徴とし、該周波数 $f$  (Hz) を $10\text{MHz} \sim 400\text{MHz}$ とすることを第二の特徴とし、プラズマの誘電率 $\kappa_p$ を前記周波数 $f$ と放電圧力 $p$  (Pa)とを使って、

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17} f^2}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

で表し、更に、プラズマに侵入する電磁界の表皮深さ $\delta$  (m)を

$$\delta = -210f \times 10^{-8} \ln[\sqrt{\kappa_p}]$$

で表したときに、計算される減衰定数 $\alpha$  (1/m)

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

から、前記直線状導体の長さ $L_a$  (m)を

$$0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$$

としたことを第三の特徴とする放電装置。

【請求項3】 前記直線状導体の直径を $10\text{mm}$ 以下としたことを特徴とする請求項1又は2に記載の放電装置。

【請求項4】 前記直線状導体の直径を $1\text{mm}$ 以上としたことを特徴とする請求項3に記載の放電装置。

【請求項5】 前記直線状導体の直径を長さ方向に変化させたことを特徴とする請求項1又は2に記載の放電装置。

【請求項6】 前記直線状導体の直径の少なくとも一部を $10\text{mm}$ 以下としたことを特徴とする請求項5に記載の放電装置。

【請求項7】 前記直線状導体の表面の一部または全体を誘電体で被覆することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の放電装置。

【請求項8】 前記誘電体の厚さを前記直線状導体の長さ方向に変化させたことを特徴とする請求項7に記載の放電装置。

【請求項9】 前記誘電体の端部において、その断面形状をテーパ状としたことを特徴とする請求項8に記載の放電装置。

【請求項10】 前記誘電体を直線状導体の長手方向に沿ってらせん形状に被覆したことを特徴とする請求項7～9のいずれか1項に記載の放電装置

【請求項11】 前記アレイアンテナが配置された前記第一の平面を挟む第二及び第三の平面上にそれぞれ基体を配置し、前記放電プラズマにより第二および第三の平面上に配置された基体に同時に加工を行うことを特徴とする請求項1～10のいずれか1項に記載の放電装置。

【請求項12】 一つの真空室内に複数の前記アレイアンテナを配置することを特徴とする請求項11に記載の放電装置

【請求項13】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電気的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に放電プラズマを形成する放電装置において、電力給電端のはじから順に位相を $180^\circ$ づつ変化させ、一斉に同一周波数の交流電力を給電し、該周波数を $10\text{MHz} \sim 2\text{GHz}$ とし、電力供給端で測定される進行波に対する反射波の比が $0.1$ 以下となるように直線状導体の長さを定めたアレイアンテナを使用することを

50 状導体の長さを定めたアレイアンテナを使用することを

特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 1 4】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電氣的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に放電プラズマを形成するプラズマ処理方法において、電力給電端のはじから順に位相を  $180^\circ$  づつ変化させて一斉に同一周波数の交流電力を給電し、該周波数  $f$  (Hz) を  $10\text{MHz} \sim 400\text{MHz}$  とし、プラズマの誘電率  $\kappa_p$  を前記周波数  $f$  と放電圧力  $p$  (Pa) とを使って

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2} \frac{1}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

で表し、更に、プラズマに侵入する電磁界の表皮深さ  $\delta$  (m) を

$$\delta = -210f \times 10^{-8} \ln \left[ \sqrt{\kappa_p} \right]$$

で表したときに、計算される減衰定数  $\alpha$  (1/m)

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

により前記直線状導体の長さ  $L_a$  (m) を  $0.5 (1/\alpha) < L_a < 10 (1/\alpha)$

としたアレイアンテナを使用することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 1 5】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電氣的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に生起される放電プラズマを利用するプラズマ CVD 法によって、ケイ素を含有する薄膜を形成し、この薄膜を半導体層として利用した太陽電池において、

電力給電端のはじから順に位相を  $180^\circ$  づつ変化させて一斉に同一周波数の交流電力を給電し、該周波数を  $10\text{MHz} \sim 2\text{GHz}$  とし、電力供給端で測定される進行波に対する反射波の比が  $0.1$  以下となるように、直線状導体の長さを定めたことを特徴とする太陽電池。

【請求項 1 6】 二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電氣的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に生起される放電プラズマを利用するプラズマ CVD 法によって、ケイ素を含有する薄膜を形成し、この薄膜を半導体層として利用した太陽電池において、電力給電端のはじから順に位相を  $180^\circ$  づつ変化させて一斉に同一周波数の交流電力を給電し、該周波数  $f$  (Hz) を  $10\text{MHz} \sim 400\text{MHz}$  とし、プラズマの誘電率  $\kappa_p$  を前記周波数と放電圧力  $p$  (Pa) とを使って

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2} \frac{1}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

で表し、更に、プラズマに侵入する電磁界の表皮深さ  $\delta$  (m) を

$$\delta = -210f \times 10^{-8} \ln \left[ \sqrt{\kappa_p} \right]$$

で表したときに、計算される減衰定数  $\alpha$  (1/m)

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

により前記直線状導体の長さ  $L_a$  (m) を

$0.5 (1/\alpha) < L_a < 10 (1/\alpha)$

としたことを特徴とする太陽電池。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は放電装置、プラズマ処理方法および太陽電池に係り、特に、アレイアンテナを用い、均一性に優れた放電プラズマを発生させる放電装置、生産性と均一性に優れたプラズマ処理方法および優れた生産性で製造される太陽電池に関する。

【0002】

【従来の技術】太陽電池はクリーンなエネルギー源とし

て注目され期待されているが、その普及を図るためにはコストダウンが不可欠であり、そのために大面積基板に高品質で均一膜厚のケイ素系薄膜を高いスループットで形成できる薄膜形成装置が望まれている。また、太陽電池以外にも大面積均一処理について様々な分野で要求がある。例えば、液晶ディスプレイを駆動するための薄膜トランジスタの製造では、昨今、基板の大面積化が進み、間もなく一辺の長さが1mを越えるようなガラス基板を使用した製造ラインが本格稼働するとみられている。この製造工程ではプラズマCVD法やドライエッチング法が駆使される。また、最近の環境問題への関心の高さを考えると、早晚、フォトリソの除去工程もプラズマアッシング（灰化）によるドライ化が必要になると推測される。

【0003】プラズマCVD法、ドライエッチング法、プラズマアッシング法のようなプラズマ処理工程では、平行平板型（容量結合型）のプラズマ処理装置が実用化されている。このタイプの放電装置では、用途に応じ、高周波を印加する電極上又はこれに対向する接地電極上のいずれかに、被処理基板が置かれる。高周波電極表面付近にセルフバイアスと呼ばれる大きな直流電位差が発生し、高周波電極上に置かれた基板に高エネルギーのイオン衝撃をもたらすのに対し、一方の接地電極側にはこのような作用が起こらない。この結果、高周波電極上に置かれた基板と接地電極上に置かれた基板とはプラズマにより異なる作用を受けることになる。従って、両電極上の基板に同等な処理を施すことはできない。

【0004】このように平行平板型のプラズマ処理装置では、一つの電極板に対し一面しかプラズマ処理をすることができない。このため同一成膜室内で二面に同時処理を行う場合には、処理室内に二つの高周波電極を設置し二つの放電領域を形成し二面処理を行うのがせいぜいである。放電領域数を増加させて多領域とするアイデアもあるが、現実的には構造の複雑さや保守性の悪さ等、平行平板型電極の採用に伴う問題点が原因となって、実現が非常に難しい。さらに、これに関連して、平行平板型放電装置は別の欠点を持っている。例えばプラズマCVD法によりガラス基板上に成膜を行う場合、真空室内に導入された材料ガスがプラズマ中の電子により分解され、ガラス基板上だけではなく高周波電極上にも薄膜が形成される。すなわち、導入された材料ガスのうち、基板上で成膜に用いられるガス量とほぼ等しい量のガスが電極上の薄膜形成のために消費されて無駄になる。さらに、この電極上の薄膜は剥離して空間を汚染するため、定期的に除去する必要がある。

【0005】また、基板の大型化とともに形成される放電プラズマの均一性が著しく低下してしまい、所望の特性が得られなくなるという問題がある。被処理基板に均一性の高いプラズマ処理を行うには、通常、基板表面全体に均一密度のプラズマを形成する必要があり、このた

めに様々な検討がなされてきた。しかし、平行平板型電極方式では、基板の大型化に伴い電極が大型化すると、均一密度のプラズマ形成は容易でなく、その理由として、次のような原理上の問題が挙げられている。すなわち、電極が大きくなるとその表面に定在波が発生してしまい、このためプラズマが偏在してしまう場合がある。これは、VHF帯等のより高い周波数を用いる場合には一層顕著になる。このような理由から、例えば80MHzの高周波の場合、基板の大きさは0.3m×0.3mが限界といわれている（U. Kroll et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol 557 (1999) p121-126）。さらには、平行平板型電極では、均一密度のプラズマを形成するには、基板全体にわたり電極間距離を精度良く維持して配置する必要があるが、これは基板が大型化すると極めて困難となる。

【0006】そこで、プラズマ維持メカニズムが容量結合型とは全く異なり、上記容量結合型固有の電極間距離精度等の問題が起こることがなく、しかも高品質膜の高速成膜に有利なVHF帯の高周波を用いて高いプラズマ密度を発生できる誘導結合型のプラズマCVD法が提案されている。具体的には、梯子形状の電極（特開平4-236781号公報）や導電性線材をジグザグに多数回折り曲げた電極（特許第2785442号公報）等の電極を用いた誘導結合型電極方式のプラズマCVD装置が提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明者らは、上記構造の電極を含め、種々の誘導結合型電極を検討した。例えば、梯子形状やジグザグに折り曲げた誘導結合型電極は、基板の大型化に対応して大きくなると、電流が均一となりにくく、また、予期できない場所に部分的に定在波が発生してしまうことが確かめられた。結論として、従来の誘導結合型電極方式では、プラズマ密度を均一にするのは難しく、大面積基板に対応するのは困難であることが分かった。

【0008】そこで、本発明者らは、誘導結合型電極について、プラズマ均一化の基本的検討を行い、上記従来の誘導結合型電極では、問題となった定在波を逆に利用したアンテナ構造を開発した。このアンテナは、例えばU字型アンテナの一端に給電部を設け、他端を接地する構造とし、接地部及び給電部と折り返し部との距離を高周波の励起波長の1/2として、電極上の定められた位置に定在波を立たせる構成とするものである（PCT/JPO0/06189）。更に、この構造のアンテナをアレイアンテナの素子として用いることによって、より大面積に均一な放電プラズマを発生させることが可能となった。

【0009】しかし、この成膜方法は、あくまでもアンテナ上に定在波が発生することを利用するものであり、従って、多かれ少なかれアンテナに沿った方向に定在波

の存在によるプラズマ密度の不均一が発生する。この不均一は、幾つかの方法により緩和することができる。例えば、アンテナを駆動する電力を間欠的に供給することで均一性は向上する（第61回秋期応用物理学会予稿集 p. 841（2000年9月）「新型電極を用いたVHF-PECVD法によるa-Si:Hの大面积製膜」）。しかし、これらの方法では、定在波の影響による不均一性を完全に無くすることはできなかった。また、定在波を利用しているために、アンテナの幾何学的な長さや励振周波数の変化によりプラズマ密度分布が大きく影響を受けることは避けられなかった。

【0010】本発明は、かかる状況に鑑み、定在波の発生を実質的に消失させるための新規のアンテナ構造及び電力供給方法を提供し、プラズマ均一性の高い放電装置と大面积基板のプラズマ処理方法、また生産性の高い太陽電池を実現することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成すべく、本発明者は、高周波電力の給電方法、電極構造、成膜条件等を種々検討する中で、アンテナ素子を複数並べたアンテナアレイにおいて特殊な効果が発現することを見いだした。本発明は、かかる知見を基に膜厚均一化の検討をさらに進めて完成したものである。

【0012】本発明の放電装置は、次のような形態を持っている。二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体が平行に配置され、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち相互に隣り合うそれぞれの一組の端部が相互に電気的に結合されている。これにより、U字形のアンテナ素子が構成される。このアンテナ素子の第一の直線状導体の結合されていない側の一端が接地端となり、第二の直線状導体の結合されていない側の一端が電力供給端となる。この電力供給端に交流電力を加えることができるようになっている。このアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行になるように、かつ、接地端と電力供給端とが交互に配置されるように、真空中の平面上に各アンテナ素子が等間隔になるように配置する。この複数配置されたアンテナ素子群がアレイアンテナとして機能し、真空中において放電プラズマを形成させる。このような幾何学的形態を持つアレイアンテナに、一斉に同一周波数の交流電力を給電する。励振周波数は、10MHz～2GHzである。

【0013】このような形態及び励振方法を採用すると、上述したようにアンテナ素子上に定在波が発生する。これは、電力供給端から出発した電磁波がアンテナに沿って進行波として進み、接地端において反射して反射波となり、進行波と反射波との干渉により定在波が生じるためである。この定在波のプラズマ均一性への影響を低減するのが本発明が解決すべき第1の課題である。また、アンテナ素子を複数駆動するとアンテナ素子間の複雑な相互作用が発生し、これにより電磁界が制御不能

になる場合があった。これが本発明が解決すべき第2の課題である。

【0014】まず、この第2の課題を解決するために、本発明者は重ね合わせの理を用いればよいという発想に到達した。これを以下に説明する。図5は、隣接するアンテナ素子の電力供給端での位相を同位相（a）及び逆位相（b）とした場合のアレイアンテナに流れる電流を模式的に示したものである。アンテナ素子2は、2本の直線状導体の線路（#1と#2、又は#3と#4）が連結されたものであり、その一端が電力供給端9、他端は接地端10である。図において、矢印の向きは電流の位相を示し、観測時点で矢印の方向に電流が流れているものとし、便宜上、上向きの矢印をプラスとする。矢印の大きさは電流の大きさを示し、観測時点では電流供給側（奇数番号の直線状導体部）で、大きな電流が流れているものとして説明する。

【0015】同位相給電の場合（図5（a））では、線路#2は、線路#1と線路#3の大きな電流に挟まれている。従って、線路#2付近の電界は、隣り合う2つの直線状導体上を流れる電流に大きく影響されると考えられる。次に、逆位相給電の場合（図5（b））、線路#2は、線路#1の大きなマイナス電流と線路#3の大きなプラス電流に挟まれている。重ね合わせの理によれば、大きさが同じで逆向きの効果が同時に存在するとこの効果は打ち消されるため、線路#2付近の電界は隣り合うアンテナの直線状導体上を流れる電流の影響を受けにくくなると考えられる。なお、以上はアンテナ素子上の電流分布形状を便宜的に仮定して説明したが、電気的に等価なアンテナ素子が配置されていれば、どのような電流分布であっても同様の結果となる。従って、同一形状のアンテナ素子が配列されている場合、隣り合う素子間の位相を反転させることで、隣り合う素子のみならず、復路（又は往路）の電流の影響を実質的に無視できるようになり、直線状導体を流れる電流は、単一線路上の電流と同様の振る舞いをすると考えられる。即ち、隣接するアンテナ素子間で逆位相の電力を供給することにより、アンテナ素子間の相互作用を實際上無視することができ、第2の課題を解決することができる。

【0016】次に、第1の課題の克服に対しては、本発明とは別の技術分野である電波伝送工学の分野にヒントがあった。すなわち、装荷アンテナの概念の適用である。装荷アンテナは、アンテナの給電点とは反対側が適当なインピーダンスの負荷を介して接地された通信用のアンテナである。このような構成にすることでアンテナに沿って伝搬した電磁エネルギーは、負荷により消費されることにより、広い周波数範囲で反射が起こらなくなる。この装荷アンテナの概念をプラズマ処理装置のアンテナに応用する検討を行ったところ、本発明者らの検討した系では、回路素子としての負荷をわざわざ取り付けなくとも同様の効果が得られることが分かった。これ

は、アンテナを取り巻くプラズマそのものが分布定数回路としての負荷の役割を果たすためと考えられる。

【0017】以上をまとめると、次のようになる。アレイアンテナへの供給電力の位相を180°づつ変化させると、アレイアンテナを構成する直線状導体部は、プラズマ中にただ一本存在する電波伝搬のガイドのように見なせるようになり、アンテナ素子間の相互作用に起因するプラズマ密度分布の悪化を低減することができる。加えて、電磁波とプラズマとの相互作用が十分大きく、プラズマ中に電磁エネルギーの殆どが吸収されるような状態を作り出すことで定在波の発生を抑えることができ、導体に沿ってプラズマ密度の不均一性を低減することができる。この結果、アレイアンテナ全体にわたりより均一なプラズマを形成することが可能となる。なお、定在波の大きさは、アンテナの電力供給端における進行波と反射波とを測定することにより予測することができる。電磁波とプラズマとの相互作用が充分大きいものであれば、電力がプラズマに吸収されるので、現象的には反射波の減少として観測できることになる。従って、アンテナの幾何学的な長さが十分に長い場合や、放電圧力が充分高くエネルギーの伝達が起こりやすい場合などに、このような大きな相互作用として観測されるが、反射電力の入射電力に対する比が10%以下となると、プラズマ密度に定在波形の分布が見られなくなり、膜厚均一性が向上することが分かった。すなわち、アンテナの幾何学的な長さは、プラズマパタメータ等に応じて、反射波の大きさにより決定すればよいことが分かった。

【0018】以上は、均一なプラズマを得るために、直線状導体の長さ（アンテナ長） $L_a$ を進行波に対する反射波の比により決定する方法について述べてきたが、電磁波の減衰定数 $\alpha$ から好適なアンテナ長 $L_a$ を定めることができる。即ち、 $0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$ とすることによっても、定在波を実質的に消失させ、プラズマ均一性を向上させることができる。これを以下に説明する。

【0019】図6に示すように、アンテナ60の周囲にはシース61とプラズマ63とが存在している。プラズマ63は、アンテナ60からかなり離れた位置まで存在しているので、アンテナ上を伝搬する電磁波の挙動を考える場合、プラズマ全体、或いは、放電を行っている真空室内全領域にわたって考える必要がありそうにみえる。しかし、プラズマ密度が非常に低い場合や、励振周波数が非常に高い場合を除いて、電磁波はプラズマ中を伝搬できない状態にある。これは一般に遮断状態と呼ばれ、電磁波の周波数がプラズマ周波数 $f_p$ （ $=\omega_p/2\pi$ ）以下であるような場合、電界はプラズマ中にある程度進入するが、どこまでも電磁波が伝搬してゆくということはない。従って、アンテナにある程度近い領域のプラズマがその伝搬の特性に主として影響するはずである。

【0020】そこで、この領域について、仮想的な境界62を定め、この境界62の半径 $d$ をいわゆる表皮深さ $\delta$ で近似した。表皮深さ $\delta$ は、遮断状態で平面波電磁波がプラズマに垂直に入射したときに、プラズマ中で電界が減衰し $1/e$ 倍（ $e$ は自然対数の底）になる距離を示し、衝突が無視できない場合のコールドプラズマ近似・線形近似では、（1）式で示されることがよく知られている（例えば、Michael Alieberman and Allan J. Lichtenberg, "Principles of Plasma Discharge and Materials Processing", John Wiley & Sons, Inc. 1994 p390）。

$$\delta = -\left(\frac{\omega}{c}\right) \text{Im}[\sqrt{\kappa_p}]$$

・・・（1）

ここで、 $c$ は光速、 $\kappa_p$ は（2）式で表されるプラズマの複素比誘電率、 $\omega$ （ $=2\pi f$ ）は角周波数（ $f$ はアンテナを駆動する励振周波数）である。

$$\kappa_p = 1 - \frac{\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2}{1 - j\frac{\nu}{\omega}}$$

・・・（2）

なお、 $\nu$ は衝突周波数であり、 $\omega_p$ （ $=2\pi f_p$ ）はプラズマ角周波数である。ここで、 $n$ はプラズマ密度（ $m^{-3}$ ）であり、 $f_p$ （Hz） $=8.98 \cdot n^{0.5}$ で近似される。

【0021】このように仮想的な境界 $d$ （ $=\delta$ ）を定めると、アンテナに沿って伝搬する電磁波を同軸線路上の伝搬と考えることができるので、簡単に減衰定数 $\alpha$ を求めることができる。そこで発明者らは、アンテナ長を決定するための手段として減衰定数 $\alpha$ を用いることを考えた。この場合の減衰定数 $\alpha$ は、仮想的な境界 $d$ に対するアンテナの単位長さあたりのインダクタンス $L$ とアンテナの単位長さあたりの静電容量 $C$ を用い、

$$LC = \frac{\mu_0 \ln \frac{d}{a}}{\frac{1}{\epsilon_0} \ln \frac{c}{a} + \frac{1}{\epsilon_0 \kappa_p} \ln \frac{d}{c}}$$

・・・（3）

$$\alpha = -\text{Im}[\omega\sqrt{LC}]$$

・・・（4）

と書ける。ただし、 $\mu_0$ は真空の透磁率、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率である。

【0022】以上の（1）～（4）式は、現象を記述するためのパラメータが多すぎるため、発明者らは、実用性を失わない範囲で、減衰定数 $\alpha$ の（4）式を使いやすい形になるように適当な仮定を設け、その仮定に基づいて導かれた減衰定数が実験結果を広い範囲でうまく説明するかどうかを調べることにした。まず、現実的なアン



11

テナ直径を考慮して、 $a = 3 \text{ mm}$ とした。シースの厚さとして予想されるプラズマパラメータを想定して  $4 \text{ mm}$  とし、 $c = 7 \text{ mm}$ とした。これらに別の数値をあてはめても、その数値が実用的な数値である限り、多くの場合、結論に大きな影響を与えないことを確認した。また、プラズマ密度として  $2 \times 10^{15} (\text{m}^{-3})$  と仮定した。プラズマ処理で使用されるプラズマ密度は、いわゆる高密度プラズマでない場合、 $1 \times 10^{16} (\text{m}^{-3})$  から  $1 \times 10^{15} (\text{m}^{-3})$  の範囲になることが多く、あまり広い数値範囲を取るわけではない。次に、衝突周波数  $\nu$  は、一電子 10 近似として、放電圧力  $p$  (Pa) を使って、

$$\nu = \frac{\langle v \rangle}{\lambda_m} = \frac{6.213 \times 10^5}{\frac{\lambda_{me}}{p}} = \frac{6.21 \times 10^5}{6.40 \times 10^{-3} / p} = 9.70 p \times 10^7$$

・・・ (5)

で表した。(5)式では、平均自由行程  $\lambda_m$  を計算するために  $A_r$  の衝突断面積を使用した。衝突断面積は、ガスの種類や構成比によって異なるが、分子量の大きなポリマーのような分子等、特殊な場合を除いて極端に違う値を取るわけではない。また、電子温度は  $10,000 \text{ K}$  であると仮定したが、これについても、低気圧放電では、あまり大きく変化することはなく、せいぜい数倍変化する程度である。

【0023】以上の仮定をおくことにより、(1')～(4')式を導くことができる。

$$\delta = -210 f \times 10^{-9} \ln[\sqrt{\kappa_p}]$$

・・・ (1')

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17}}{f^2} \frac{1}{1 - j1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

・・・ (2')

$$0.5 (1/\alpha) < \text{直線部の長さ } L_a < 10 (1/\alpha)$$

を選定すれば良いという結論に至った。なお、ここまでの式の導出においてプラズマ密度を  $2 \times 10^{15} (\text{m}^{-3})$  とおいたので、理論的には遮断状態となる周波数は、 $400 \text{ MHz}$  となる。

【0025】以上述べたように、直線部長さ  $L_a$  は、放電周波数と放電圧力の二つのパラメータのみで予想することができるようになったが、(1')～(4')式は、実験結果に合うように、使用の利便性と実用性を優先して求めた式であり、放電装置やプラズマ処理という目的に利用範囲を限定して得られたものである。

【0026】以上、アンテナの直線部長さの決定方法について二通りの方法を示したが、このいずれの場合でも、アンテナの直径を  $10 \text{ mm}$  よりも細くすることが望ましい。このように細い直径の直線部を選定することに 50

12

$$LC = \frac{1.26 \times 10^{-6} \ln\left(\frac{\delta}{3 \times 10^{-3}}\right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln\left(\frac{\delta}{7 \times 10^{-3}}\right)}$$

・・・ (3')

$$\alpha = -\text{Im} \left[ 6.28 f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln\left(\frac{\delta}{3 \times 10^{-3}}\right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln\left(\frac{\delta}{7 \times 10^{-3}}\right)}} \right]$$

・・・ (4')

【0024】減衰定数  $\alpha$  を計算し、その減衰定数の逆数を取る。減衰定数の逆数の単位はメートルであり、物理的には、 $1/\alpha$  の位置まで来ると同軸円筒の電力供給点から出発した電磁波の大きさが  $1/e$  倍に減衰することを意味している。そこで、アレイアンテナの直線部の長さ  $L_a$  として、減衰定数の逆数の付近の値を与えることが適当であると考えられる。つまり、減衰定数の逆数よりもあまり短いとアンテナ素子の接地端までに電磁波があまり減衰しないために接地端で反射波が発生し、定在波が形成されることが予想される。一方、減衰定数の逆数よりもあまり長い直線部を持たせると、アンテナ全長に亘って放電を発生させることができなくなり、電力供給点付近に専ら放電プラズマが形成されてしまう。そこで、減衰定数の逆数に対して  $0.5$  倍と  $10$  倍の数値を励振周波数を変えた場合について、放電圧力依存性として試みに計算した。この計算結果の一部として、励振周波数が  $10 \text{ MHz}$ 、 $85 \text{ MHz}$  及び  $400 \text{ MHz}$  の場合について圧力と  $L_a$  との関係を図7～9に示した。後に、実施例の欄で述べるが、発明者らは図7～9にそれぞれ示される二本の曲線で挟まれる領域に直線部の長さの最適値が存在することを確認した。つまり、直線部の長さ  $L_a$  として、

・・・ (6)

よって、アンテナの幾何学的な長さが同一であっても、その全長にわたってプラズマを形成させ易くすることができる。換言すれば、小さな直径の選択はアンテナの電氣的長さを短くする効果を持つ。これは、アンテナの直径が電磁波とプラズマとの相互作用の強度に関連しているためと推測される。これは、例えば、直線部直径が大きくなると振動シースによるエネルギー伝達 (O. A. Popov and V. A. Godyak, J. Appl. Phys. 57, 53(1985).) が大きくなり、アンテナとプラズマとの電氣的結合として容量性結合の割合が増えるためと考えられる。このようにアンテナの直径の選定は、アンテナ直線部長さの選定に影響を与えるものの、その程度は大きくはなく、最適なアンテナ直線部長さは、アンテナ直径を細くしても、依然として(6)式から求める範囲内にある。このようにア

ンテナ直径は、ある程度細い方が大面積化という観点からは有利になるが、あまりにも細いと、形状安定性が失われる。アンテナの製造や保守を考えると、ハンドリング中に簡単に塑性変形を起こすような細さの選択は適当ではない。更に、アンテナ上を流れる電流による電力の損失や発熱等も考慮すると、直線部の直径には、1 mm 以上に選定することが望ましい。

【0027】直線部の直径がアンテナ上の電波伝搬に係ることを述べたが、これを積極的に利用することが考えられる。すなわち、直線部の全長に亘って同一直径のアンテナ素子の場合、電磁波の減衰に伴うプラズマ密度の強弱が発生することがあった。また、その他、処理すべき基体が置かれている付近でのみプラズマ密度を上昇させたい場合もある。更に、真空室内の特定の設計条件によってプラズマに不均一が生ずることも考えられる。これに対処する方法として、発明者らは直線部の長さによって直径に変化を与えると、プラズマ密度が制御できることを見いだした。この場合、直線部の太さが10 mm よりも細くなる場所を作ることによって、この効果がより顕著になることが見いだされた。

【0028】また、上述したように、アンテナに沿って伝搬する電磁波の伝搬定数は、アンテナ周囲のシースとプラズマとによって決定的に支配される。ここで、直線部をアルミナのようなセラミックスやテフロン（登録商標）のようなプラスチック等の誘電体で被覆すると、アンテナ周囲の誘電体、シースおよびプラズマで構成された空間を電磁波が伝搬することになる。これによって、直線部の幾何学的長さが同一であってもより広い範囲で均一なプラズマを形成することができる。この効果は、直線部の直径を10 mm 以下に設定しても有効であり、また、直線部の直径に変化を与えた場合にも有効であった。

【0029】なお、誘電体は、電極長手方向に厚みを変化させるのが好ましい。特に給電部付近で未減衰の電磁波の影響でプラズマ密度が高くなると云う現象を抑制するため、給電部に近い電極部を厚い誘電体で覆い、その他の部分を薄くすることや、被処理基体の付近のプラズマ密度を上昇させるためにこの付近の誘電体厚さを薄くするのが好ましい。また、厚さは直線部の長手方向に徐々に変更することが望ましい。これにより、誘電体端部での急激な特性インピーダンス変化が抑えられ、より均一密度のプラズマを形成することが可能となる。又は、前記電極の長手方向に沿ってらせん形状に電極を被覆しても良い。これにより、誘電体端部でのプラズマ密度が平坦化され、電極に沿ったプラズマ密度は一層均一化する。

【0030】本発明のアレイアンテナによれば、そのアレイアンテナを挟むようにスラブ状の放電プラズマを形成させることができ、アンテナを挟むようにして二面の被処理基体を置くことにより、その二面の基体上で同等

のプラズマ処理が可能となる。これにより、処理能力が2倍になり、材料ガスの利用効率が2倍になる。

【0031】また、従来の平行平板型の処理装置では、真空室内にせいぜい二つの放電領域を設けるのが限界である。これに対して、本発明では、アレイアンテナの構造が単純であり、また重量も軽量であるために分解・再組立が容易である。また、電力供給端が側面にあるため、真空室内に複数の放電領域を作り出すことが容易になる。このことにより、生産性が向上する。アレイアンテナの両面にアンテナを挟むようにして二面の基体を配し、この組み合わせを同一真空室内に複数配置することにより、生産性は更に向上する。

【0032】一方、本発明のプラズマ処理方法は、二本の長さの等しい第一及び第二の直線状導体を平行に配置し、前記第一及び第二の直線状導体端部のうち隣り合う端部の一組を電氣的に結合し、第一の直線状導体の結合されていない側の一端を接地端とし、第二の直線状導体の結合されていない側の一端を交流電力を加え得る電力供給端としたアンテナ素子を複数個、それぞれのアンテナ素子の直線状導体が平行となり、かつ、接地端と電力供給端とが交互となるように、真空中の第一の平面上に等間隔に配置してアレイアンテナを構成し、該アレイアンテナに交流電力を供給して真空中に放電プラズマを形成するプラズマ処理方法において、電力給電端のはじから順に位相を180°づつ変化させて一斉に同一周波数の電力を給電し、該周波数を10 MHz ~ 2 GHz とし、電力供給端で測定される進行波に対する反射波の比が0.1以下となるように直線状導体の長さを定めたアレイアンテナを使用することを特徴とする。

【0033】または、電力給電端のはじから順に、位相を180°づつ順次変化させて一斉に同一周波数の電力を給電し、該周波数  $f$  (Hz) を10 MHz ~ 400 MHz とし、プラズマの誘電率  $\kappa_p$  を前記周波数と放電圧力  $p$  (Pa) とを使って

$$\kappa_p = 1 - \frac{1.61 \times 10^{17} f^2}{1 - j 1.54 \left( \frac{p}{f} \right) \times 10^7}$$

で表し、更に、プラズマに侵入する電磁界の表皮深さ  $\delta$  (m) を

$$\delta = -210 f \times 10^{-8} \ln \left[ \sqrt{\kappa_p} \right]$$

で表したときに、計算される減衰定数  $\alpha$  (1/m) を

$$\alpha = -\operatorname{Im} \left[ 6.28 f \sqrt{\frac{1.26 \times 10^{-6} \ln \left( \frac{\delta}{3 \times 10^{-3}} \right)}{9.57 \times 10^{10} + \frac{1.13 \times 10^{11}}{\kappa_p} \ln \left( \frac{\delta}{7 \times 10^{-3}} \right)}} \right]$$

により前記直線状導体の長さ  $L_a$  (m) を

$0.5(1/\alpha) < L_a < 10(1/\alpha)$

としたアレイアンテナを使用することを特徴とする。

【0034】一方、本発明の太陽電池は、上記本発明のプラズマCVD法によって、ケイ素を含有する薄膜を形成し、この薄膜を半導体層として利用することを特徴とする。

【0035】なお、本発明において、基体とは、ガラス等の絶縁物、半導体、金属等のいわゆる基板やウエハの他、フィルム状（ロール状の巻いたものも含む）、ブロック状のものも含む意味である。さらに、本発明の放電装置は、以上述べた基板処理に用いられる他、排ガス処理や有機物の重合のような原材料の分解や合成に用いることも可能である。

【0036】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図を参照して説明する。図1は、本発明の放電装置に使われるアレイアンテナの一構成例を示す模式的断面図である。図に示すように、放電装置は、ガス導入口5と排気口6を有する真空室1に、U字型に折り曲げられた複数のアンテナ素子2が基板11に対向して配置され、それぞれの一端の電力供給端9を同軸ケーブル8を介して高周波電源7に接続し、他端の接地端10を真空室1の壁に連結して接地する。ここで、電力供給端9及び接地部10と折り返し部4との間の長さ（即ち、直線状導体の長さ $L_a$ ）は、電力供給端における反射波の進行波に対する比を0.1以下とするか又は（6）式が成立するようににより定められる。また、アンテナ表面はテフロン（登録商標）のような誘電体3で被覆されている。

【0037】アンテナ素子2は、SUS、Al等の線状導体をU字型に折り曲げた形状のものが好適に用いられるが、例えば「コ」の字型のような矩形のものでも良い。また、一体に形成したものでなくともよく、例えば2本の直線状導体を金属板等で接続・固定した構造であっても良い。なお、直線状導体は、必ずしも同じ材質のもので構成する必要はなく、異なる材質のものを接続したものであっても良い。

【0038】誘電体3は、直線状導体全面を被覆するように形成してもよいが、導体表面の一部のみを被覆しても良い。いずれの場合も、膜厚均一性を向上させることができ、プラズマ密度分布（又は膜厚分布）のパターンに応じて、誘電体形成位置及びその形状等が定められる。例えば、図2（a）に示したように、電力供給端側の直線部にのみ形成しても良い。これにより、給電部側でのプラズマ密度の増大が抑えられ、アンテナ全体としてプラズマ密度が平均化される。さらに、プラズマ密度が高くなり易い場所に限定してアンテナの一部に誘電体被覆を設けることにより、アンテナ長手方向に沿ってより均一性を向上させることが可能となる。ここで、被覆する誘電体の厚さによっては、誘電体端部でプラズマ密度が増大する場合がある。この場合には、図2（b）に

示したように、誘電体端部での断面をテーパ形状とし、誘電体端部に向かって徐々に誘電体の厚みを薄くする形状とするのが好ましい。これにより、誘電体端部に対応する部分でのプラズマ密度ピークの出現が抑えられる。あるいは、図2（c）に示すように、アンテナ長手方向に沿って、誘電体をらせん形に被覆しても良く、この方法によっても誘電体端部でのプラズマ密度が平均化される。なお、誘電体の厚さと誘電率（材質）は、改善しようとするプラズマ密度分布に応じて適宜選択されるが、例えばテフロン（登録商標）の場合0.1mm程度以上が好適に用いられる。誘電体は、プラズマ、熱に対して安定なものであれば、テフロン（登録商標）のような有機系材料、アルミナ、石英のような無機系材料等のどのような材質のものでも良いが、高周波損失の大きな材料は好ましくない。

【0039】なお、逆位相の高周波を、複数のアンテナ素子に交互に供給する方法としては、複数のアンテナ素子の一つおきに、半波長分の長さに等価な同軸ケーブルを電力供給端に継ぎ足せばよい。また、高周波電源に移相器を設けて、半波長ずれた高周波を1つおきに供給してもよい。

【0040】また、本発明の放電装置は、図3に示すように、複数のアンテナ素子2を被処理基体幅に配列したアレイアンテナを、さらに所定の間隔を開けて複数層に配置した構造とし、各層の両側に被処理基体11を配置した多領域構成とするのが好ましい。このような構成とすることにより、多数の基体（図の例では、6枚）上で同時にプラズマ処理を行うことが可能となり、スループットを大幅に上げることができる。しかも、アレイアンテナと基体間距離は30～60mm程度と短くできるため、装置設置面積に対するスループット比の優れた放電装置を実現することができる。

【0041】

【実施例】次に、実施例を挙げて、本発明をより具体的に説明する。図1に概略を示す構成のプラズマ処理装置を用いて以下の実験を行った。この時の直線部の長さは、0.5m、1.0m、1.6mの三種類とし、励振周波数50MHz、放電圧力10Paにおける反射電力の測定及び目視によるプラズマの密度分布の観察を行った。この結果、0.5mでは、放電を生起させることはできなかった。1.0mでは、放電プラズマが発生したが、反射が大きく進行波に対して10%を越えていた。この時のプラズマに注目したところ、直線部中央付近で密度が濃くなり、端部へ行くに従って密度が薄くなるような現象が観られた。一方、1.6mのアンテナでは、反射電力は非常に小さくなり、また、プラズマの濃淡は殆ど観測できなかった。次に、放電圧力を20Paとし、同様の観測を行った。この結果、0.5mのアンテナでも放電が発生したが、反射波は大きく10%を越えていた。この時のプラズマ密度分布は、アンテナの結合

部（U字に曲げた付近）のプラズマ密度が高くなり、電力供給端及び接地端へ向かって、プラズマからの発光強度が低下する現象が観られた。この圧力（20 Pa）では、1.0及び1.6 mのアンテナについては、反射電力も小さく、プラズマ密度の均一性も良好であった。

【0042】以上から、適当な長さ以上のアンテナの直線部を選定することにより、反射波を小さく抑えることができ、また同時に定在波に起因していると思われるプラズマの不均一性の発生を抑えることができることが分かった。様々な放電条件での同様な実験を試みた結果、直線部長さを、おおよそ、進行波に対する反射波の比を10%以下に抑える長さを選定することにより、プラズマ均一性も良好に保つことが可能となり、また、直線部長さをこの長さ以上としても反射波が再上昇してしまうことはないことも分かった。

【0043】以上の結果を基に、励振周波数85 MHz、直線部の長さ1.6 mのアレイアンテナを持つプラズマCVD装置を試作し、この装置での定量的な観測を行った。アンテナの直線部は厚さ1 mmのテフロン（登録商標）で被覆した。放電に使用したガスは、SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> = 0.2の混合ガスである。初めに、各アンテナ素子に対して同位相で電力を供給したが、図4に示したように、膜厚分布は非常に悪いものであった。次に、各アンテナ素子の位相を180°ずつずらした状態で成膜圧力を変化させて実験を行ったところ、図に示すように、2～3 Paの放電圧力の時の膜厚の均一性は良好となった。この時の反射波は、進行波の3%以下であった。なお、装置の排気速度上の制約により、これ以下の圧力での実験はできなかった。また、放電周波数を下げると、反射波が増大し、膜厚分布に凹凸が観られるようになった。即ち、アンテナの直線部の幾何学的な長さが同一であっても、放電周波数を下げると、直線部長さの電気的長さを短縮すると同等の効果を持つことが確認された。

【0044】次に、直線部の長さ1.6 mのアレイアンテナを用いて、放電圧力0.1～1000 Paの範囲で同様な実験を行い、図7～9のグラフとの関係を調べた。まず、アンテナを駆動する励振周波数が10 MHzである場合について考察する。図7によれば、低圧力領域では数十から数万メートルの直線部長さが必要であり、さもないと定在波の発生によるプラズマの不均一と反射波の増大が起こることが示唆される。つまり、幾何学的な直線部の長さ1.6 mは、短すぎるであろうと予想された。実際の実験では、100 Pa以下の圧力では放電を開始することができなかった。圧力を上昇させると放電が生じたがどの圧力領域でも反射波が大きく殆ど全反射に近い状態であった。

【0045】次に、励振周波数85 MHzの場合について考察する。この場合、図8のグラフによると1.6 mの直線部の長さは、1～100 Paの圧力領域で0.5

(1/α)と10(1/α)との間に位置し、反射電力も小さく、アンテナの全長に亘って放電が広がるであろうことが予想される。実際の実験結果は、以下の通りであった。0.1～0.6 Paでは、放電が生起しなかったがそれ以上の圧力領域では、放電プラズマが発生した。特に2～3 Pa付近では反射波も小さく、目視確認によるプラズマの均一性も良好であった。10～数10 Pa付近ではアンテナ先端部ではプラズマ密度が低くなったが、これは、電気的なアンテナ長が長すぎたと考えられる。なお、放電が生起できなかった圧力領域では、衝突周波数が小さいため投入した電力では火花条件を満たせなかったものと推測される。

【0046】励振周波数を400 MHzにした場合について説明する。図9のグラフによれば、10 Pa程度の圧力では、アンテナの直線部の長さが(1/α)の10倍に近接しており、アンテナの先端部でのプラズマ密度の低下が予測される一方、反射波は小さくなることが予想される。実験の結果、10 Pa付近の放電圧力領域でこのような現象が観られたが、高い放電圧力領域では、プラズマ均一性は良好であり、また反射も小さいものであった。以上により、いずれの場合もアンテナ長は0.5(1/α) < 直線部の長さL < 10(1/α)の範囲内の長さを選定することで、反射波は小さくなり、良好なプラズマ均一性が得られることが分かった。

【0047】以上の記述で分かる通り、原理的には、減衰定数は、ガスの種類や、アンテナの太さ、アンテナの周囲に取り付けられる誘電体の誘電率・厚さ、プラズマ密度(励振電力)等に応じて変化する。しかし、これらのパラメータが変化することで最適のアンテナ長が極端に変化することは無く、発明者らが実験したパラメータ範囲内では上の範囲内に直線部長さの最適値が存在することが確認された。

【0048】本発明の方法を用いてアレイアンテナの両側に基板を搭載して、a-Si太陽電池を試作した。この結果、平行平板形放電装置と同等な特性を持つ電池が得られ、また、アレイアンテナの両側に置かれた基板上での太陽電池特性は、ほぼ同等であった。

#### 【0049】

【発明の効果】本発明により、生産性の高い放電装置を得ることができ、本発明により、生産性の高いプラズマ処理方法が実現される。また、太陽電池を製造するためのプラズマCVD装置として本発明を適用することで、低価格な太陽電池の実現に大きく寄与する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の放電装置の一構成例を示す模式的断面図である。

【図2】アンテナ素子の構成例を示す模式図である。

【図3】複数の基板の同時処理可能な放電装置を示す模式的断面図である。

【図4】給電方法と膜厚分布の関係を示すグラフであ

る。

【図 5】アンテナ素子間の相互作用を説明する模式図である。

【図 6】アンテナ周辺の状態を示す模式図である。

【図 7】励振周波数 10 MHz におけるアンテナ長と圧力の関係を示すグラフである。

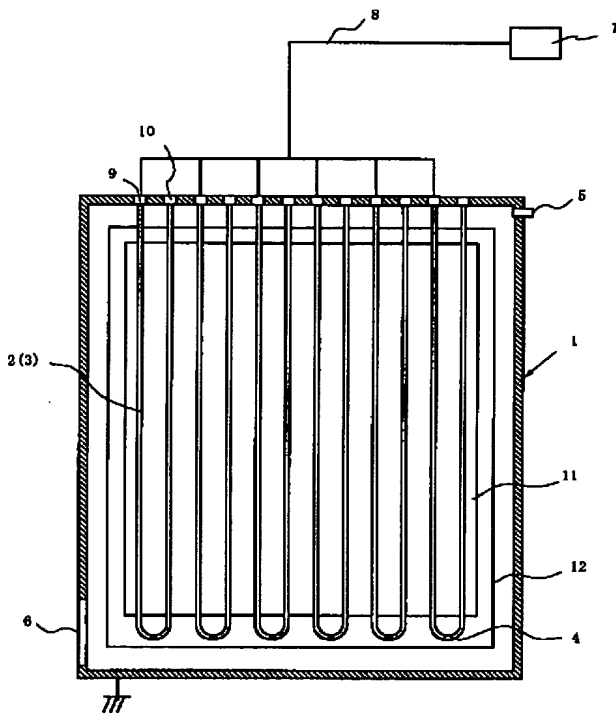
【図 8】励振周波数 85 MHz におけるアンテナ長と圧力の関係を示すグラフである。

【図 9】励振周波数 400 MHz におけるアンテナ長と圧力の関係を示すグラフである。

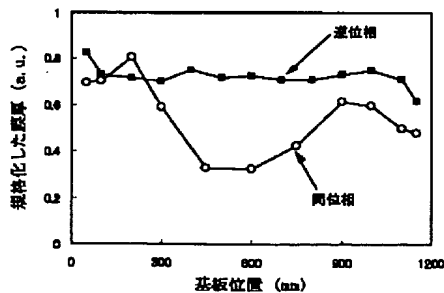
【符号の説明】

- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1 真空室、    | 4 折り返し部、    |
| 2 アンテナ素子、 | 5 ガス導入口、    |
| 3 誘電体、    | 6 排気口、      |
|           | 7 高周波電源、    |
|           | 8 同軸ケーブル、   |
|           | 9 電力供給端、    |
|           | 10 接地端、     |
|           | 11 基板、      |
|           | 12 基板ホルダ、   |
|           | 10 60 アンテナ、 |
|           | 61 シース、     |
|           | 62 仮想的な境界、  |
|           | 63 プラズマ。    |

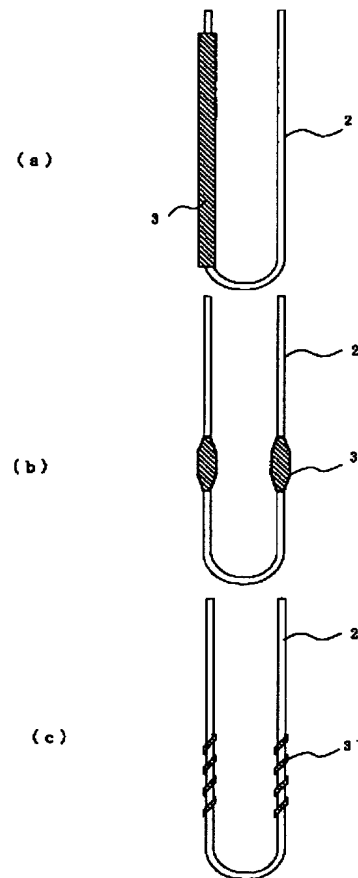
【図 1】



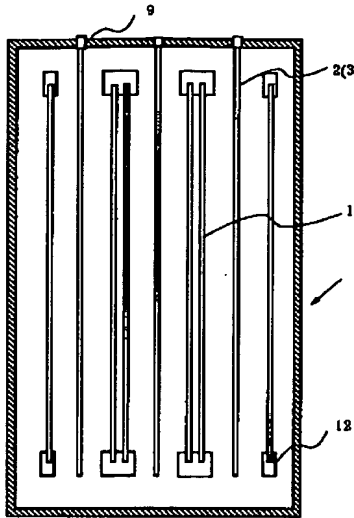
【図 4】



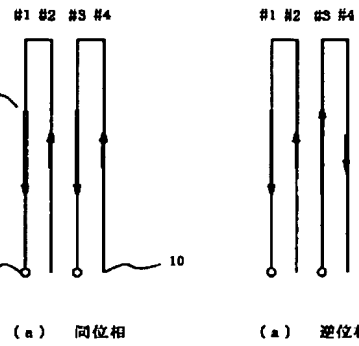
【図 2】



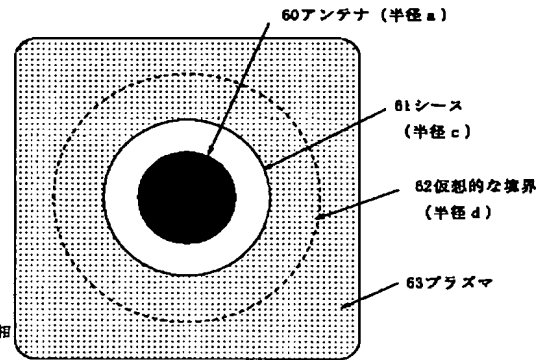
【図 3】



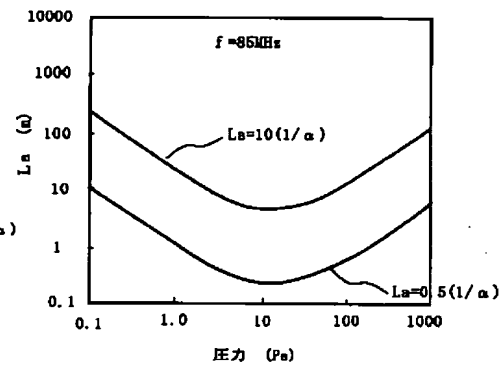
【図 5】



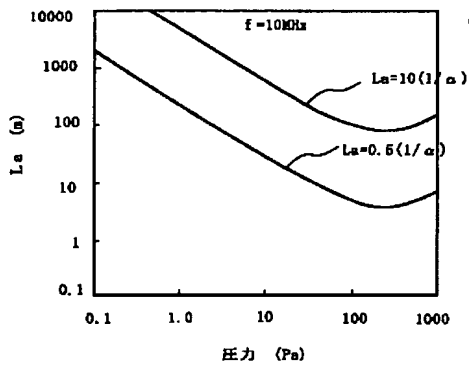
【図 6】



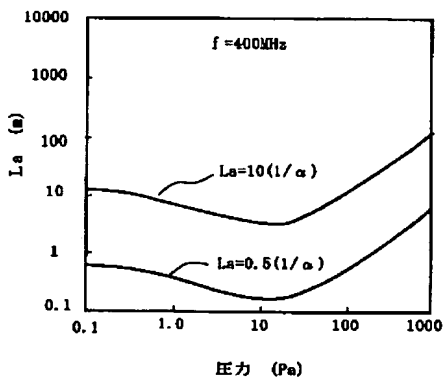
【図 8】



【図 7】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 憲和  
東京都府中市四谷 5 丁目 8 番 1 号 アネル  
バ株式会社内

(72)発明者 渡部 嘉  
東京都府中市四谷 5 丁目 8 番 1 号 アネル  
バ株式会社内

F ターム(参考) 5F045 AA08 AB04 BB01 BB08 CA13  
CB01 DP01 EH02 EH11  
5F051 CA16 CA23 CA40

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**